



TUGAS AKHIR - TM 141585

SIMULASI NUMERIK DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN KECEPATAN UDARA RUANG CONSESSION 1 PADA LANTAI 2 TERMINAL 2 BANDAR UDARA JUANDA, SIDOARJO.

FILIPUS ARDIAN WIJAYA
2109 100 112

Dosen Pembimbing
NUR IKHWAN, ST., M.ENG

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



FINAL PROJECT - TM 141585

**NUMERICAL SIMULATION OF AIR
TEMPERATURE AND VELOCITY DISTRIBUTION
IN THE CONCESSION 1 ROOM, THE SECOND
FLOOR OF TERMINAL 2 JUANDA
INTERNATIONAL AIRPORT, SIDOARJO**

FILIPUS ARDIAN WIJAYA
NRP 2109 100 112

Advisor Lecturer
Nur Ikhwan, ST., M.Eng

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

**SIMULASI NUMERIK DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN
KECEPATAN UDARA RUANG CONSESSION 1 PADA
LANTAI 2 TERMINAL 2 BANDAR UDARA JUANDA,
SIDOARJO.**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

FILIPUS ARDIAN WIJAYA

Nrp. 2109 100 112

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Nur Ikhwan, ST., M.Eng. (Pembimbing)
(NIP. 196709151995121001)
2. Ir. Kadarisman. (Penguji I)
(NIP. 194901091974121001)
3. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT. (Penguji II)
(NIP. 197104051997021001)
4. Ary Bachtiar K. P., MT., PhD. (Penguji III)
(NIP. 197105241997021001)

**SURABAYA
JANUARI, 2015**

Simulasi Numerik Distribusi Temperatur dan Kecepatan Udara Ruang Consession 1 Pada Lantai 2 Terminal 2 Bandar Udara Juanda, Sidoarjo.

Nama Mahasiswa : Filipus Ardian Wijaya
NRP : 2109 100 112
Jurusan : Teknik Mesin, FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Nur Ikhwan, ST., M.Eng

Abstrak

Pertambahan penduduk yang begitu pesat membuat kebutuhan jasa transportasi semakin besar, terutama transportasi udara. Bandara Internasional Juanda Sidoarjo telah mengalami over capacity pada tahun 2013 dengan total 17,662,593. Untuk memenuhi kapasitas terminal, maka dilakukan pemanfaatan kembali terminal lama Bandara Juanda. Pemanfaatan yang dilakukan oleh PT Angkasa Pura I, yaitu dengan mendirikan Terminal baru, yang dimana Terminal ini akan diberi nama "Terminal 2 Bandara Juanda". Terminal 2 Bandara Juanda Surabaya telah resmi beroperasi pada tanggal 14 februari 2014. Bandara juanda ini merupakan wujud upaya PT Angkasa Pura I untuk mewujudkan terminal baru berkelas Internasional dan diharapkan dapat memberikan pelayanan yang lebih baik kepada seluruh pengguna jasa. Terminal 2 ini di harapkan memberikan kenyamanan yang baik bagi para para pengguna jasa. Kenyamanan pada terminal 2 harus didukung sistem pengkondisian udara yang baik, agar penumpang yang berada di ruang tunggu merasa nyaman. Dalam pengkondisian udara ruangan, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah temperatur serta distribusinya di dalam ruangan tersebut. Di setiap ruangan memiliki distribusi temperatur yang berbeda-beda, maka diperlukan adanya analisa temperatur pada ruangan. Ruang yang akan dianalisis adalah ruang consession 1, yang dimana ruangan ini bertempat di lantai 2 hall keberangkatan.

Untuk menganalisa temperatur dan kecepatan fluida didalam ruangan, maka perlu dilakukannya permodelan simulasi.

Proses permodelan simulasi ini dilakukan dengan menggunakan metode numerik dengan software CFD. pemodelan ini merupakan permodelan tiga dimensi dengan aliran steady dan penyelesaian turbulence model dengan standard k-ε. Dimana kondisi batas yang diberikan adalah inlet sebagai velocity inlet dan outlet sebagai outflow. Selanjutnya pemodelan yang dilakukan pada analisa data yang disimulasikan berdasar dari desain PT. WASKITA KARYA yaitu pada Ruang Consession 1 lantai 2 Terminal 2 Bandar Udara Internasional Juanda Sidoarjo sebagai model uji.

Hasil yang diperoleh dari analisa data tersebut, didapatkan kesimpulan bahwa Pada kedua variabel pada bagian kiri dan kanan, udara dingin yang keluar dari inlet diffuser tidak dapat mengkondisikan ruangan sebesar $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Pada bagian kiri, RAG yang terletak di lantai menghisap udara dingin yang turun dan pada bagian kanan, dikarenakan udara langsung keluar menuju pada ruang hampa, sehingga udara tidak sempat memenuhi ruangan. Pada Vektor Kecepatan, nilai kecepatan vektor sebesar 0,25-0,74 m/s. Pada grafik variabel ketinggian 1,5 m dan 2 m, pada posisi -6,695 hingga 0,5 memiliki tingkat kontur kenaikan grafik yang sama. Pada posisi 3,7 - 5,5 kontur grafik pada variabel malam hari cenderung meningkat lebih cepat, hal ini dikarenakan beban pendinginan pada malam hari lebih besar dari siang hari. Pada ketinggian diffuser pada semua variabel cenderung sama, yaitu , tiang kiri posisi -6,695 m pada temperatur $18,3^{\circ}\text{C}$ meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur 29°C dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur $18,3^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur 29°C . Hal ini menunjukkan bahwa pendistributian temperatur diffuser simetris.

Kata kunci: Distribusi Temperatur dan Vektor Kecepatan; Software CFD; Cooling Load; Inlet Diffuser; standard k-ε.

***“Numerical Simulation of Air Temperature and Velocity
Distribution In The Concession 1 Room, The Second
Floor of Terminal 2 Juanda International Airport,
Sidoarjo”***

Nama Mahasiswa : Filipus Ardian Wijaya
NRP : 2109 100 112
Jurusan : Teknik Mesin, FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Nur Ikhwan, ST., M.Eng

Abstract

The increasing of population growth inflicts the consumption of transportation service and it is greater than the old days, especially air transport. Juanda International Airport has already experienced an over capacity in 2013 with total 17,662,593 people. For fulfilling the terminal capacity, PT. Angkasa Pura uses the old Juanda airport which is named by “Terminal 2 Juanda Airport.” Terminal 2 Juanda Airport was officially opened on 14th February 2014. This airport is a form of Angkasa Pura 1 hard work to build an airport with international standard which gives their best service for the entire customer. For giving the best service for customer, it should be supported by a good air conditioning system so that the thethe passengers who were in the waiting room feel comfortable. For a good air conditioning, we have to pay attention for the temperature and its distribution in that room. Every room is different in term of the distribution of temperature, so they need the analysis of temperature in each room. A room that is analyzed by the writer is the concession room 1 where it is placed in the second floor of departure hall. For analyzing the temperature and fluid velocity inside the room, it is necessary to make a model simulation.

Process modeling in the simulation is carried out using numerical methods with CFD software. This modeling is a

modeling of three-dimensional steady flow and settlement with turbulence models with standard k- ϵ . Where the boundary conditions are given as the inlet velocity inlet and outlet as outflow. Further modelling analysis conducted on these data is three-dimensional, steady flow, with turbulence model used standard k- ϵ are simulated based on the design of PT. WASKITA KARYA in Consession 1 Room 2nd floor of Terminal 2 Sidoarjo Juanda international airport as a model test.

The results obtained from the analysis of these data, obtained the conclusion that on both the variables on the left and the right, cold air comes out of the inlet diffuser can not customize the room of $25 \pm 2^\circ\text{C}$. On the left, RAG on the floor sucking cold air coming down so that cold air has not had time to satisfy the room. On the velocity vector, vector speed value of $0.25 - 0.74 \text{ m/s}$. Where the velocity vector area extents on variable night was smaller than during the day. This is because the load of cooling at night is greater than the cooling loads during the day. On the graph variable height of 1.5 m and 2 m, at position -6,695 up to 0.5 degree contour increment the same graph. On the position of the 3.7-5.5 contour graph on evening variables tend to increase more rapidly, this is due to the cooling load is greater at night than during the day. At the height of the diffuser on all variables tend to be the same, that is, the left pole position -6,695 at temperature of $18,3^\circ\text{C}$ increase continues until position 0.5 m at temperature of 29°C and the right Pole position at 6,795 m at temperature of $18,3^\circ\text{C}$, graphs increased steadily until the position of 0.5 m at temperature of 29°C . This indicates that the temperature of the diffuser pendistribution symmetric distribution of either the left or right pole.

Keywords : Distribution of temperature and velocity vector; CFD software; Cooling Load; Inlet Diffuser; standard k- ϵ .

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena karunia-Nya penulis akhirnya bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

SIMULASI NUMERIK DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN KECEPATAN UDARA RUANG CONSESSION 1 PADA LANTAI 2 TERMINAL 2 BANDAR UDARA JUANDA, SIDOARJO.

Tugas Ahir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Yulius Arrys Rihadi dan Febe Soeharti Ningsih sebagai orang tua terbaik yang telah memberikan doa, semangat, dan kesabarannya untuk menantikan kelulusan putra tercintanya.
2. Nehemia Indra Heaven Wijaya, Yohana Oceanita Arrysandi, dan Daniel Bayu Wijaya sebagai saudara yang selalu mendoakan dan menyemangati.
3. Nur Ikhwan, ST., M.Eng._selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ir. Kadarisman., Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT., dan Ary Bachtiar K. P., MT., PhD. Selaku dosen penguji dan membimbing penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, serta memberikan saran yang terbaik untuk kedepannya.
5. Bambang Pramudjati, ST, M.Eng.Sc.,Phd, selaku ketua jurusan Teknik Mesin ITS, Ir. Yunarko T. selaku dosen wali, dan seluruh dosen Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu dan pengajarannya selama ini.
6. Bapak Nur Rochman dan Bapak Sutrisno atas nasihat dan bantuannya sebagai pegawai lab, pak mul, pak no, cak to, pengurus kampus lainnya.

7. Erni Zulfa Arini, dan Fitri Setyo Wati Sebagai Partner TA, Gani, Bayu, Endy, Bondan, Fasya(boy), Andri, dan Galang sebagai teman dan seperjuangan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Teman sekret PMK ITS, Radika, Fendi, Gumilang, Andy, koplo, Peter, David, Ckw, dan Geges sebagai teman yang selalu bikin heboh dan menemani tidur di sekret.
9. Dimas, Septy, Agung, Ratu, Risa, Mike, Rian, Mutiara, Aan, dan teman-teman pengurus PMK ITS yang sudah membantu dan selalu menyemangati serta mendoakan dalam kepengurusan.
10. Teman-teman di laboratorium Mekanika dan Mesin Fluida, ageng, Khanafi, Rizka, dimas, Nando, Aulia, Fina, Imam, Acol dan masih banyak penghuni lain yang selalu membantu mengegerkan maupun menenangkan laboratorium.
11. Teman-teman M52 yang sudah mneghibur dan SMRM.
12. Teman-teman GO yang selalu bikin Heboh mulai dari Arfa, Rani, Indri, Eka, Mira, dkk yang sudah menghibur dan menyemangati penyelesaian Tugas Akhir ini. Serta Yoanita yang Sudah membantu Menyemangati dan Menghibur dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
13. Teman SMA, Stanley sebagai guru Auto Cad yang sabar, Fenny, oen, dll sebagai teman yang menyemangati.
14. Semua pihak yang telah membantu dalam proses peyelesaian Tugas Akhir ini.

Sekalipun Tugas Akhir ini selesai melalui proses yang cukup panjang dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan tugas akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut.

Penulis berharap semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan.....	i
Abstrak (Indonesia).....	iii
Abstrak (English).....	v
Kata Pengantar.....	vii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel.....	xvii
Daftar Simbol.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Definisi Pengkondisian Udara.....	5
2.2 Proses Pengkondisian Udara.....	6
2.3 Proses-proses Pada Pengkondisian Udara.....	7
2.4 Prinsip Perhitungan Beban Pendinginan.....	10
2.5 Perpindahan Panas.....	11
2.5.1. konduksi	12
2.5.2. konveksi	12
2.5.3. radiasi	12
2.6. sistem desain distribusi pendinginan udara.....	13
2.6.1. mixed air system.....	13
2.6.2. thermal displacement ventilation systems.....	17
2.6.3. underfloor Air distribution system.....	18
2.6.4. Task/ambient Conditioning system.....	19
2.7. letak keluaran udara	19
2.8. ruang Consession 1 lantai 2 bandar udara international juanda surabaya.....	21

2.9. Numerical Modelling	22
2.9.1. computational Fluid Dynamic	23
2.9.2. deskripsi turbulence modelling.....	23
2.10. penelitian terdahulu.....	25
2.10.1. ensu lim, 2007	25
2.10.2. Tengfei zhang, Qingyan (yan)	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 pengambilan Data	33
3.2 langkah – langkah permodelan numerik	35
3.3 Tahap Pre Processing	36
3.4 Processing	38
3.4.1 Energy Equation	38
3.4.2 Pemilihan Turbulence Modelling.....	38
3.4.3 Material	38
3.4.4 Boundary Condition.	39
3.4.5 Initialize	41
3.4.6 Monitor Residual	41
3.5 Post-Processing	41
3.6 Jadwal alokasi waktu Penelitian	42
3.7 <i>Flowchart</i> Penelitian	43
BAB IV ANALISA HASIL EKSPERIMEN.....	45
4.1 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan Siang Untuk Detik ke-200	48
4.2 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan Siang Untuk Detik ke-1050	53
4.3 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan Siang Untuk Detik ke-2500	58
4.4 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan Malam Untuk Detik ke-200	63
4.5 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan Malam Untuk Detik ke-1050	68
4.6 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan Malam Untuk Detik ke-2500	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	79
5.1 Kesimpulan	79

5.2 Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA.....	83
LAMPIRAN	85
BIODATA PENULIS.....	87

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>boundary condition</i> untuk 3 sistem pengkondisian udara yang akan disimulasikan	29
Tabel 3.1 Data Peralatan di dalam ruangan	35
Tabel 3.2 Properties Fluida	38
Tabel 3.3 Boundary Condition	39
Tabel 3.3 Alokasi Waktu Penelitian	42

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 ilustrasi beban beban pendinginan	5
Gambar 2.2 model sistem pengkondisian udara sederhana	6
Gambar 2.3 pemanasan dan pendinginan	7
Gambar 2.4 Pembahasan	8
Gambar 2.5 Pendinginan dan pengeringan	8
Gambar 2.6 pengeringan kimia	9
gambar 2.7 (a)skema proses pencampuran,(b)pencampuran yang dipetalkan pada grafik psikrometrik	10
Gambar 2.8 model sistem perhitungan beban pendinginan	10
Gambar 2.9 Karakteristik udara pada keluaran kelompok A	14
Gambar 2.10 Karakteristik udara pada keluaran kelompok B...	15
Gambar 2.11 Karakteristik udara pada keluaran kelompok C..	15
Gambar 2.12 Karakteristik udara pada keluaran kelompok D..	16
Gambar 2.13 Karakteristik udara pada keluaran kelompok E..	16
Gambar 2.14 Skema TDV systems	18
Gambar 2.15 Skema UFAD Systems	18
Gambar 2.16 skema TAC systems	19
Gambar 2.17 Letak keluaran di dinding atas	20
Gambar 2.18 Letak keluaran di atap menghasilkan distribusi yang baik untuk pendinginan	20
Gambar 2.19 Letak keluaran di lantai bagian bawah jendela menghasilkan distribusi yang baik untuk pemanasan	21
Gambar 2.20 Ruang Consession 1 lantai 2 Terminal 2 Bandar Udara Internasional Juanda	22
Gambar 2.21 bentuk skema permodelan dan boundary condition pada Fluent.....	26
Gambar 2.22 Hasil analisis velocity dan temperature ruangan pada kedua kasus tersebut	27
Gambar 2.23 Skema permodelan untuk 3 sistem pengkondisian udara	28
Gambar 2.24 Hasil permodelan Mixing dan Displacement Air Distribution system.....	30

Gambar 2.25 Hasil permodelan Personalized Air Distribution System.....	31
Gambar 3.1 Denah ruangan tampak depan	33
Gambar 3.2 Denah ruangan tampak samping	34
Gambar 3.3 Denah ruangan tampak atas	34
Gambar 3.4 denah diffuser dan RAG	34
Gambar 3.5 permodelan ruangan.....	36
Gambar 3.6 permodelan ruangan(simplifikasi).....	37
Gambar 3.7 Meshing grid	37
Gambar 3.8 Flowchart penelitian	43
gambar 4.1 Gambar plot <i>iso surface</i>	47
gambar 4.2 Garis yang akan ditinjau	48
Gambar 4.3 Kontur temperatur bidang $z/w = -10,845$ untuk variasi siang	48
Gambar 4.4 Grafik distribusi temperatur vs jarak pada detik ke 200 untuk variasi siang	49
Gambar 4.5 kontur Kecepatan Bidang $Z/W = -10,845$ Untuk Variasi Siang	49
Gambar 4.6 Kontur Temperatur Bidang $X/L = 0,05$ Untuk Variasi Siang	52
Gambar 4.7 kontur Kecepatan Bidang $X/L = 0,05$ Untuk Variasi Siang	52
Gambar 4.8 Kontur temperatur bidang $Z/W = -10,845$ untuk variasi siang	53
Gambar 4.9 Grafik distribusi temperatur vs jarak pada detik ke 600 untuk variasi siang	54
Gambar 4.10 kontur Kecepatan Bidang $Z/W = -10,845$ Untuk Variasi Siang	54
Gambar 4.11 Kontur Temperatur Bidang $X/L = 0,05$ Untuk Variasi Siang	57
Gambar 4.12 Kontur Kecepatan Bidang $z/w=0,05$ Untuk Variasi Siang.	57
Gambar 4.13 Vektor Temperatur Bidang $Z/L=-10,845$ Untuk Variasi Siang	58

Gambar 4.14 Grafik distrubusi temperatur vs jarak pada detik ke 1200 untuk variasi siang	59
Gambar 4.15 Kontur Kecepatan Bidang $Z/L = -10,845$ Untuk Variasi Siang	59
Gambar 4.16 Kontur Temperatur Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi Siang	62
Gambar 4.17 Vektor Kecepatan Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi Siang	62
Gambar 4.18 Kontur Temperatur Bidang $z/w = -10,845$ Untuk Variasi malam	59
Gambar 4.19 grafik distrubusi temperatur vs jarak pada detik ke 200 untuk variasi malam	63
Gambar 4.20 Vektor Kecepatan Bidang $Z/W = -10,845$ Untuk Variasi Siang	64
Gambar 4.21 Kontur Temperatur Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi malam	67
Gambar 4.22 Vektor Kecepatan Bidang $X/L= 0,05$ Untuk Variasi malam	67
Gambar 4.23 Kontur Temperatur Bidang $Z/W = -10,845$ Untuk Variasi malam	68
Gambar 4.24 grafik distrubusi temperatur vs jarak pada detik ke 600 untuk variasi malam	69
Gambar 4.25 Vektor Kecepatan Bidang $Z/W=-10,845$ Untuk Variasi malam	69
Gambar 4.26 Kontur Temperatur Bidang $X/L= 0,05$ Untuk Variasi malam	72
Gambar 4.27 Vektor Kecepatan Bidang $z/w=0,05$ Untuk Variasi malam	72
Gambar 4.28 Kontur Temperatur Bidang $Z/L=-10,845$ Untuk Variasi malam	73
Gambar 4.29 grafik distrubusi temperatur vs jarak pada detik ke 1200 untuk variasi malam	74
Gambar 4.30 vektor Kecepatan Bidang $Z/L = -10,845$ Untuk Variasi malam	74

Gambar 4.31 Kontur Temperatur Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi malam	77
Gambar 4.32 Vektor Kecepatan Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi malam	77

DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN

K	konduktivitas panas (W/mK)
A	luas penampang (m^2)
ΔT	beda temperatur (K)
t_f	temperatur fluida, K
c_p	kapasitas panas (kJ/kg.K)
h	koefisien konveksi ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
ℓ	panjang <i>rectangular obstacle</i> (m)
\dot{m}	laju aliran massa fluida (kg/s)
ρ	massa jenis fluida (kg/m^3)
Q	perpindahan panas (W)
q	<i>heat rate</i> (W)
q''	<i>heat flux permukaan</i> (W/m^2)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR PUSTAKA

- Stoecker, Wilbert F., 1994. *"Refrigerasi dan Pengkondisian Udara"*, edisi kedua, Erlangga.
- Grondzik, Walter T et.al., 2009. *"ASHRAE Fundamental Handbook"*.
- Widianto, Nugroho, 2011 *"Studi Numerik Distribusi Temperatur dan Kecepatan Udara pada Ruang Bedah Jantung (OKA 609) GBPT Rumah Sakit DR. Soetomo"*, **Tugas Akhir, Teknik Mesin FTI-ITS**, Surabaya.
- Eunsu Lim, 2007. *"CFD Analysis of Air Flow Characteristics in Office Room with Task Air Conditioning and Natural Ventilation"*. Department of Architectural Engineering, Osaka university, Japan.
- Tengfei, zhang and Qingyan (Yan) Chen., 2007. *"Novel air distribution systems for commercial aircraft cabins"*, Building and Environmental Engineering.
- Incropera, Frank P. and David P. Dewitt, 2002. *"Fundamental Heat and Mass Transfer sixth edition"*, 2002. College of Engineering.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BIODATA PENULIS



Filipus Ardian Wijaya adalah anak dari empat bersaudara yang lahir pada tanggal 11 Agustus 1991 di Surabaya, Jawa Timur. Penulis menempuh pendidikan dari taman kanak-kanak di TK. Petra 11, tingkat dasar di SD Kr Petra 11 Surabaya, SMP Kr Petra 1 Surabaya, dan SMA Kr Dharma Mulya Surabaya.

Kemudian tahun 2009 penulis menempuh program sarjana di jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN. Semasa kuliah, penulis pernah menjadi pengurus di PMK ITS dengan Masa Jabatan 2 Tahun dengan divisi yang berbeda. Penulis memilih bidang Konversi Energi yang fokus pada Mekanika Fluida dan Analisa Numerik.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambahan penduduk yang begitu pesat membuat kebutuhan jasa transportasi semakin besar, terutama transportasi udara. Terminal Bandar Udara Juanda yang terletak di kota Surabaya memiliki kapasitas sebesar 6 JPT (juta penumpang pertahun), Bandara Internasional Juanda Surabaya telah mengalami over capacity pada tahun 2013 dengan total 17,662,593 dengan peningkatan 15 % selama tahun 2009-2013. Untuk memenuhi kapasitas terminal, maka dilakukan pemanfaatan kembali terminal lama Bandara Juanda. Pemanfaatan yang dilakukan oleh PT Angkasa Pura I, yaitu dengan mendirikan Terminal baru, yang dimana Terminal ini akan diberi nama “Terminal 2 Bandara Juanda”.

Terminal 2 Bandara Juanda Surabaya telah resmi beroperasi pada tanggal 14 februari 2014. Bandara Juanda ini merupakan wujud upaya PT Angkasa Pura I untuk mewujudkan terminal baru berkelas Internasional dan diharapkan dapat memberikan pelayanan yang lebih baik kepada seluruh pengguna jasa. Terminal baru tersebut berbentuk koridor yang memanjang dari barat ke timur. Luasnya mencapai 10 ribu meter persegi. Bangunan Terminal 2 Juanda dirancang lebih modern dan ramah lingkungan. Terminal 2 ini diharapkan memberikan kenyamanan yang baik bagi para pengguna jasa.

Kenyamanan pada terminal 2 harus didukung sistem pengkondisian udara yang baik, agar penumpang yang berada di ruang tunggu merasa nyaman. Dalam pengkondisian udara ruangan, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah temperatur serta distribusinya di dalam ruangan tersebut. Di setiap ruangan memiliki distribusi temperatur yang berbeda-beda, maka diperlukan adanya analisa temperatur pada ruangan. Pada terminal 2 Juanda International Airport Surabaya terdapat beberapa ruangan yang suhu temperaturnya tidak terdistribusi dengan baik.



Tugas Akhir Konversi Energi

Salah satu ruangan yaitu pada ruangan consession 1 lantai 2. Ruang Consession ini terletak di lantai 2 diatas hall keberangkatann dimana ruangan ini digunakan sebagai tempat penjualan. Temperatur di consession ini sangat berbeda dengan temperatur di ruangan yang lain, sehingga membuat penumpang tidak terlalu nyaman. Maka dari itulah diperlukan analisa ruangan distribusi temperatur dan kecepatan udara pada ruang tunggu. Untuk mengetahui seberapa besar distribusi temperatur ruangan dapat menggunakan metode numerik. Metode ini sangat membantu untuk mengetahui kondisi-kondisi tersebut.

Metode numerik adalah suatu metode penyelesaian masalah distribusi temperatur yang berkaitan dengan pembagian daerah yang akan dianalisis menjadi sub daerah kecil. Jumlah elemen kecil yang dipilih menentukan tingkat keakuratan solusi, semakin banyak elemen yang dibuat maka hasil yang diperoleh makin akurat. Pada penulisan Tugas Akhir ini, akan dilakukan simulasi distribusi temperatur dan kecepatan dengan bantuan *software CFD*.

1.2 Rumusan Masalah

Setiap ruangan memiliki bentuk sistem pengkondisian udara. Sistem pengkondisian udara di setiap ruangan dibuat berdasarkan *Cooling load* yang terjadi. Hal ini diperhitungkan agar mengetahui *comfort zone* pada ruangan. Sebab, *Comfort zone* merupakan hal yang paling penting dalam pembangunan gedung.

Pada hall keberangkatan, ruang consession 1 merupakan penghubung antara hall keberangkatan dan ruang consession 2. Di ruangan memiliki temperatur yang berbeda dengan ruangan consession 2 dan hall keberangkatan, perbedaan ini lah yang akan dianalisa pada Tugas akhir ini. Bentuk analisa yang dilakukan dengan menggunakan metode *CFD* dengan *software CFD* yang dimana udara dikondisikan *steady state*. Analisa yang diharapkan adalah analisa profil. Analisa profil ini menunjukkan pendistribusian temperatur dan kecepatan udara yang terjadi



didalam ruangan Consession 1 pada lantai 2 Terminal 2 Bandara Juanda Surabaya.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mempersempit *scope* Tugas Akhir ini maka terdapat beberapa batasan permasalahan, yaitu :

1. Sistem yang ditinjau adalah ruang Consession 1 lantai 2 pada Terminal 2 Bandara Juanda International Airport Surabaya.
2. Aliran yang disimulasikan berubah terhadap fungsi waktu, *unsteady*.
3. Adanya simplifikasi ruangan, yang bertujuan untuk memudahkan meshing.
4. Udara diasumsikan sebagai gas ideal.
5. Analisa menggunakan model turbulensi *standard k-ε*.
6. Parameter yang diamati adalah arah aliran, temperatur, dan kecepatan udara.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian dalam Tugas Akhir ini adalah untuk menganalisa pengkondisian udara Ruang tunggu lantai 2 pada Terminal 2 Juanda International Airport Surabaya dengan menggunakan simulasi *software* “*Computational Fluid Dynamics (CFD)*” dalam bentuk kontur temperatur dan vektor kecepatan pada iso surface yang sudah ditentukan, serta meninjau temperatur pada ketinggian tertentu yang nantinya berupa grafik.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam tugas akhir ini diharapkan akan menambah wawasan dan pengetahuan mahasiswa secara umum dan penulis khususnya dalam mensimulasikan Pengkondisian ruangan dengan menggunakan *software* FLUENT. Selain itu tugas akhir ini dapat digunakan sebagai referensi penelitian ruangan pengkondisian udara dan juga bisa menjadi literatur bagi mahasiswa lain dalam penyusunan karya ilmiah maupun jurnal.



1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir, sistematika penulisan yang dilakukan adalah:

1. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

2. Bab 2 Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini berisi tentang dasar teori dan rangkuman jurnal yang memuat hasil penelitian-penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan eksperimen yang dilakukan saat ini untuk mendukung analisa data.

3. Bab 3 Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan peralatan-peralatan dalam eksperimen, benda uji, serta cara kerja yang digunakan.

4. Bab 4 Analisa Dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang analisa dan data hasil simulasi yang didapatkan.

5. Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini terdiri dari dua bagian yaitu kesimpulan hasil penelitian yang didapatkan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

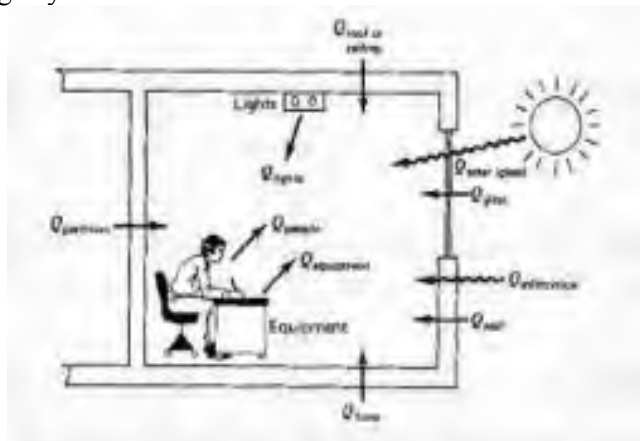


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Definisi Pengkondisian Udara

Pengkondisian udara adalah suatu proses perubahan kondisi udara lingkungan ke kondisi yang direncanakan sehingga diperoleh temperatur, kelembaban dan kebersihan udara yang diinginkan. Untuk negara tertentu persyaratan sifat-sifat udara diatas ditentukan oleh undang-undang sesuai dengan aplikasi dari ruangan misalnya untuk ruangan pertemuan, untuk rumah sakit dan sebagainya.



Gambar 2.1 ilustrasi beban pendinginan

Sistem pengkondisian udara pada umumnya terbagi dua golongan utama, yaitu :

1. Pengkondisian udara untuk kenyamanan
2. Pengkondisian udara untuk kenyamanan adalah pengkondisian udara ruangan yang bertujuan untuk memberikan kenyamanan bagi penghuni yang melakukan aktifitas didalamnya.
3. Pengkondisian udara untuk industri
4. Pengkondisian udara untuk industri adalah pengkondisian udara yang diperlukan untuk pemrosesan baha, peralatan



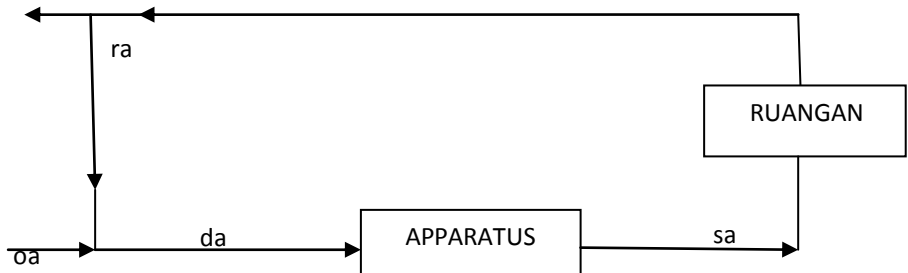
Tugas Akhir Konversi Energi

produksi, atau barang-barang yang ada di dalam ruangan tersebut.

Untuk melaksanakan fungsi diatas peralatan harus diinstalasikan dan dikontrol sepanjang tahun. Kapasitas dari peralatan pengkondisian udara dihitung pada beban pendinginan maksimum aktual sesaat, dengan dikontrol pada kondisi tertentu saat terjadinya beban puncak atau pada saat beban parsial.

2.2 Proses Pengkondisian Udara

Proses pengondisian udara secara sederhana dapat digambarkan berikut :



Gambar 2.2 model sistem pengkondisian udara sederhana

Udara luar sebanyak (cfm) dicampurkan dengan udara return dari ruangan sebanyak (cfm)_{ra} dicampurkan dengan udara return dari ruangan sebanyak (cfm)_{ra} dan memasuki apparatus sebanyak (cfm)_{da} yang merupakan jumlah dari (cfm)_{qa} dan (cfm)_{ra}, udara mengalami pemrosesan di apparatus kemudian disuplai ke ruangan ke ruangan sebanyak (cfm)_{sa}, dimana dalam sistem ini (cfm)_{sa} sama dengan (cfm)_{da}.

Udara dari ruangan sebagian dikeluarkan dan sebagian lagi dikembalikan untuk dicampurkan dengan udara segar, begitulah seterusnya siklus berlangsung.

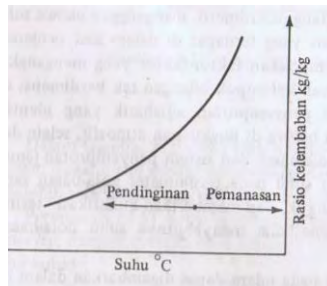


2.3 Proses-proses Pada Pengkondisian Udara

Proses-proses yang terjadi pada udara dapat digambarkan dalam bagan psikrometrik guna penjelasan yang lebih tepat. Dan yang lebih penting adalah kenyataan bahwa bagan tersebut dapat digunakan untuk menjelaskan perubahan sifat-sifat udara yang penting, seperti temperatur, rasio kelembaban dan entalpi dalam proses-proses tersebut. Beberapa proses dasar pengkondisian udara meliputi (1) pemanasan atau pendinginan sensibel, (2) pelembaban adiabatik dan non adiabatik, (3) pendinginan dan pengurangan kelembaban (pengeringan), (4) pengurangan kelembaban kimiawi dan (5) campuran.

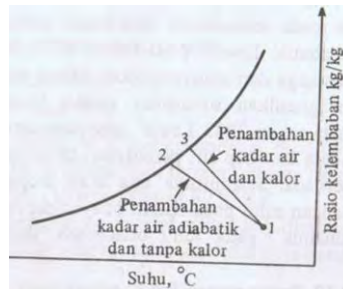
Beberapa proses dasar pada pengkondisian udara adalah :

- a. Pemanasan atau pendinginan sensibel, adalah suatu proses dimana laju perpindahan panas yang hanya disebabkan oleh perubahan temperatur bola kering udara **gambar 2.3** menunjukkan suatu perubahan temperatur kaering tanpa perubahan pada rasio kelembaban.



Gambar 2.3 pemanasan dan pendinginan sensibel (wilbert F. Stocker, refrigerasi dan pengkondisian udara, 1982)

- b. Pelembaban, dapat bersifat adiabatik seperti pada proses 1-2 atau dengan penambahan kalor seperti pada proses 1-3 (lihat pada **gambar 2.4**).

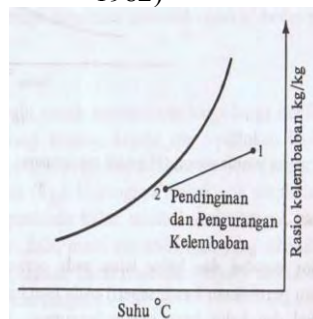


Gambar 2.4 Pembahasan (Wilbert F. Stocker, refrigerasi dan pengkondisian udara, 1982)

- c. Pendinginan dan pengurangan kelembaban (pengeringan), menghasilkan penurunan temperatur dan rasio kelembaban (**gambar 2.5**). proses tersebut terjadi pada koil pendingin atau alat penurunan kelembaban. Kapasaitas refrigerasi selama proses pendinginan dan penurunan kelembaban adalah kapasitas

$$\text{refrigerasi} = m(h_1 - h_2) \dots \dots \dots (2.1)$$

(wilbert F. Stocker, refrigearsi dan pengkondisian udara, 1982)

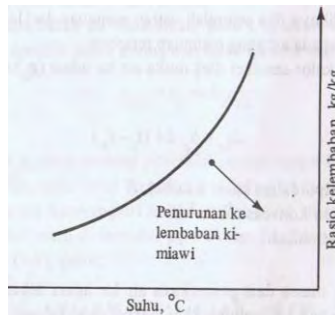


Gambar 2.5 Pendinginan dan pengeringan (wilbert F. Stocker, refrigerasi dan pengkondisian udara, 1982)



Tugas Akhir Konversi Energi

- d. Proses kimiawi, uap air dari udara diserap atau diabsorpsi oleh suatu bahan higroskopik (**gambar 2.6**). apabila proses tersebut diberi penyekat klaor, sehingga entalpunya tetap, dan karena kelembabannya turun, maka temperatur udara tersebut harus naik.



Gambar 2.6 pengeringan kimia (Wilbert F> Stocker, refrigerasi dan pengkondisian udara, 1982).

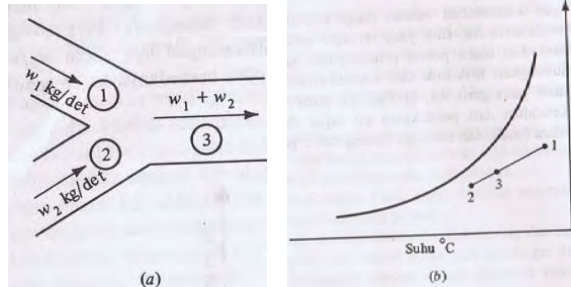
- e. Campuran dua aliran udara adalah proses yang umum di dalam pengkondisian udara gambar **2.7(a)** menunjuk pencampuran antara m_1 kg/dt udara dari keadaan 1 dengan m_2 kg/dt udara dari keadaan 2. Hasilnya adalah kondisi 3, terlihat pada grafik psikrometrik dalam gambar **2.7(b)** persamaan dasar untuk proses pencampuran ini adalah persamaan kesetimbangan energi dan kesetimbangan massa. Persamaan kesetimbangan energi tersebut adalah :

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = (m_1 + m_2) h_3 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

W = ratio kelembaban, kg/kg

h = entalpi, kJ/kg



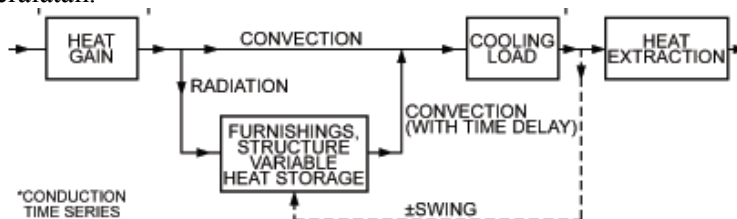
gambar 2.7 (a) skema proses pencampuran, (b) pencampuran yang dipetakan pada grafik psikrometrik (Wilbert F. Stocker, refrigerasi dan pengkondisian udara 1982)

2.4 Prinsip Perhitungan Beban Pendinginan

Perhitungan Beban pendinginan (Cooling load) dihasilkan dari proses perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi yang melewati bangunan, dan juga berasal dari panas internal dan sistem komponent. Komponen bangunan yang dapat menghasilkan beban pendinginan seperti berikut :

External : tembok, atap, jendela, cahaya matahari, pintu, dan lantai.

Internal : cahaya penerangan, manusia, dan berbagai macam peralatan.



Gambar 2.8 model sistem perhitungan beban pendinginan (ASRHAЕ Handboook, 2009)

Dari model diagram diatas dapat dikatakan bahwa perhitungan beban pendinginan berawal dari beban panas yang berada di dalam atau luar ruangan



Heat gain (beban panas) adalah banyaknya panas yang masuk dan timbul didalam ruangan. *heat gain* meliputi panas dari sinar matahari yang menerangi ruangan, perpindahan panas secara konduksi yang melalui tembok, atap dan lantai, dan adanya infiltrasi dan ventilasi di dalam ruangan serta adanya peralatan yang menghasilkan panas(lampu, komputer, dll).

Cooling load (beban pendinginan) adalah banyaknya panas yang harus dikeluarkan dari ruangan untuk mempertahankan temperatur udara dan kelembaban ruangan. Permukaan material yang melingkupi dan berada di ruangan (dinding, lantai, dan atap serta perabotan rumah tangga) dapat menyerap panas selama beberapa saat, sehingga temperaturnya lebih tinggi dari temperatur ruangan. Hal inilah yang menyebabkan beban pendinginan sesaat tidak sama dengan beban panas sesaat.

Heat extraction adalah banyaknya panas yang dapat dikeluarkan dari ruangan oleh peralatan. Bila kondisi ruangan dipertahankan konstan maka *heat extraction* berharga sama dengan *Cooling load* dan jika temperatur ruangan diperbolehkan naik beberapa derajat atau swing *heat extraction* lebih kecil dari *cooling load*. Jadi *cooling load* dan *heat extraction* merupakan beban yang dapat ditangani oleh peralatan.

Cooling Coil Load (Beban peralatan) adalah banyaknya energi yang dibutuhkan untuk mengatasi beban pendinginan agar ruangan dapat dikondisikan seperti yang direncanakan. Beban peralatan ini merupakan jumlah semua komponen-komponen beban pendinginan yang telah disebutkan (external maupun internal) ditambah factor keamanan dan *losses*.

2.5 Perpindahan Panas

Heat transfer (Perpindahan panas) adalah proses perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur. Energi panas berpindah dari termperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Energi panas berpindah dengan 3 cara yaitu, Konduksi, konveksi dan radiasi. Berikut akan dijelaskan ketiga hal tersebut.



2.5.1 Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan energi panas yang terjadi pada media yang memiliki perbedaan temperatur. Model matematik untuk konduksi menurut fourier adalah sebagai berikut :

$$q = -kA \frac{\Delta T}{L} \dots \dots \dots (2.3)$$

(Wilbert F. Stocker, Refrigerasi dan pengkondisian udara, 1982)

Dimana :

- q = heat flux, W/m²
- k = konduktivitas panas W/mK
- A = luas penampang, m²
- ΔT = beda temperatur, K
- L = panjang, m

Tanda minus menunjukkan bahwa perpindahan energi panas yang terjadi kearah temperatur yang lebih rendah.

2.5.2 Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas yang disertai perpindahan molekul. Umumnya terjadi pada benda cair dan gas. Model matematik untuk konveksi dapat dirumuskan sebagai berikut

$$q = h_o A (t_s - t_f) \dots \dots \dots (2.4)$$

(Wilbert F. Stocker, Refrigerasi dan pengkondisian udara, 1982)

Dimana :

- q = heat flux, W/m²
- h_o = koefisien konveksi W/m²K
- A = luas permukaan, m²
- t_s = temperatur permukaan, K
- t_f = temperatur fluida, K

2.5.3 Radiasi

Radiasi merupakan perpindahan energi panas dengan pancaran gelombang elektromagnetik dari suatu permukaan benda ke lingkungannya tanpa memerlukan media penghantar.



Model matematik untuk radiasi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$q = .A. (T_s^4 - T_{sur}^4).....(2.5)$$

(Wilbert F. Stocker, Refrigerasi dan pengkondisian udara, 1982)

Dimana :

q = heat flux, W/m^2

= ketetapan Stefan-Boltzmann = $5,669 \times 10^{-8} W/m^2K^4$

A = luas permukaan, m^2

= emisivitas bahan

T_s^4 = temperatur permukaan, K

T_{sur}^4 = temperatur lingkungan, K

Nilai emisivitas terletak pada $0 \leq \leq 1$ benda hitam sempurna (*black body*) mempunyai nilai = 1. karena warna hitam merupakan penyerap panas yang baik.

2.6 Sistem Desain Distribusi Udara di Ruangan

Berdasarkan *ASHRAE Fundamentals Handbook, 2009*, chapter 20 "*SPACE AIR DIFFUSION*" sistem distribusi di dalam ruangan terdapat 4 macam, yaitu *Mixed-Air System*, *Thermal Displacement Ventilation (TDV) Systems*, *UnderFloor Air Distribution (UFAD) Systems*, dan *Task/ambient conditioning (TAC) system*. Berikut merupakan penjelasan dari 4 sistem tersebut.

2.6.1 *Mixed-Air System*

Udara terkondisi biasanya dialirkan pada keluaran (*outlets*) dengan kecepatan lebih tinggi dibanding kecepatan sirkulasi udara ruangan yang dikondisikan. Temperatur udara terkondisi mungkin lebih tinggi atau lebih rendah atau sama dengan temperatur ruang yang dikondisikan, tergantung pada beban ruangan semburan udara dari diffuser bercampur dengan udara sekeliling sehingga menurunkan kecepatan dan menyeimbangkan temperatur udara.

Distribusi campuran menghasilkan kecepatan udara, temperatur, kelembaban dan kualitas udara cukup seragam pada

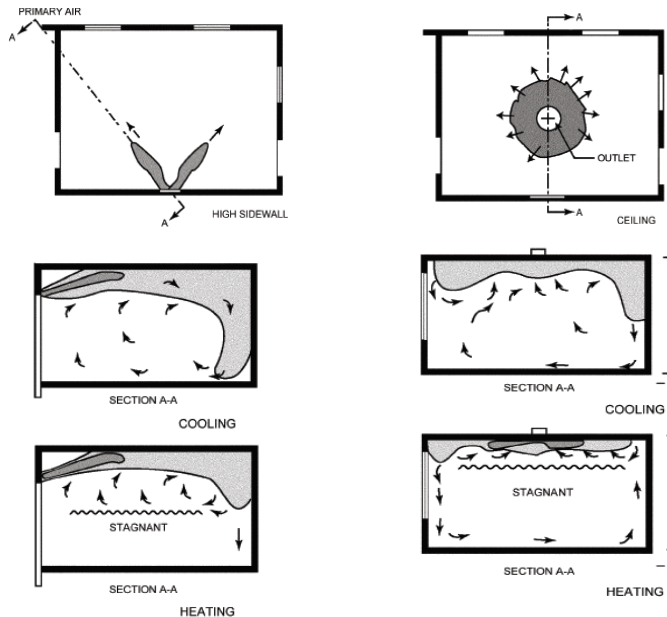


Tugas Akhir Konversi Energi

ruang yang dikondisikan. Jenis-jenis keluaran (*outlets*) dan kinerjanya dibagi dalam 5 kelompok, yaitu :

1. Kelompok A

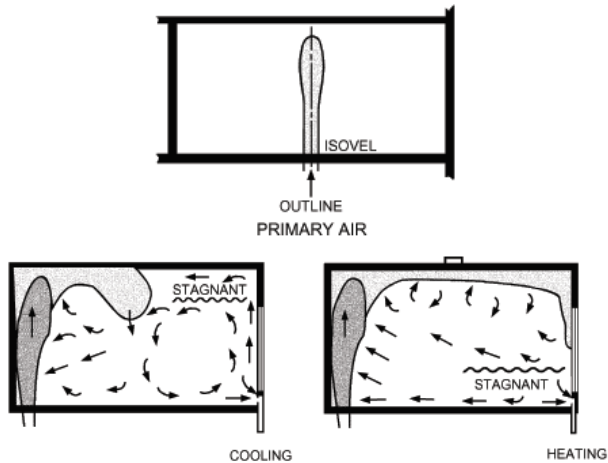
Keluaran dipasang pada plafon atau dekat plafon yang mengalirkan udara secara mendatar. Berikut ini adalah gambar kelompok A :



Gambar 2.9 Karakteristik udara pada keluaran kelompok A (*ASHRAE Fundamentals Handbook, 2009*)

2. Kelompok B

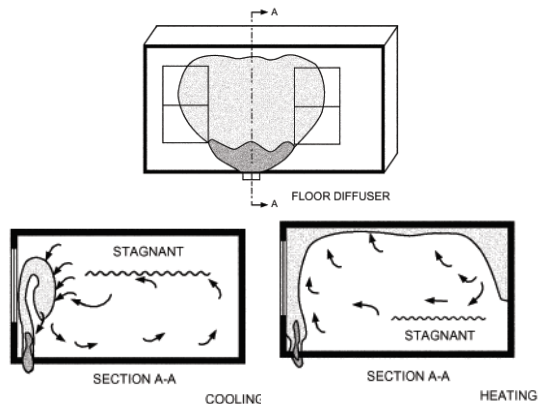
Keluaran dipasang pada lantai atau dekat lantai yang mengalirkan udara secara tegak dengan semburan yang tidak menyebar. Berikut adalah gambar kelompok B :



Gambar 2.10 Karakteristik udara pada keluaran kelompok B (*ASHRAE Fundamentals Handbook, 2009*).

3. Kelompok C

Keluaran dipasang pada lantai atau dekat dengan lantai yang mengalirkan udara secara tegak dengan semburan yang menyebar. Berikut ini adalah gambar kelompok C :

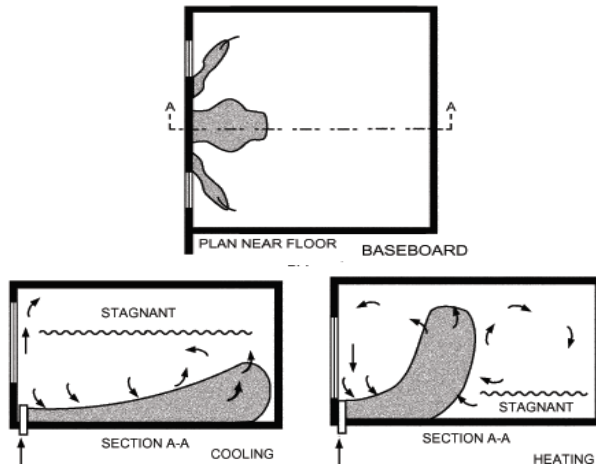


Gambar 2.11 Karakteristik udara pada keluaran kelompok C (*ASHRAE Fundamentals Handbook, 2009*).



4. Kelompok D

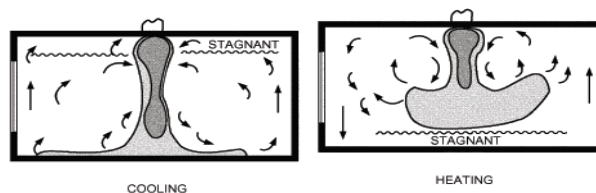
Keluaran dipasang pada lanati atau dekat lantai yang mengalirkan udara secara mendatar. Berikut ini adalah gambar kelompok D :



Gambar 2.12 Karakteristik udara pada keluaran kelompok D (ASHRAE Fundamentals Handbook, 2009).

5. Kelompok E

Keluaran dipasang pada plafon yang mengalirkan udara primer secara vertikal. Berikut ini adalah gambar kelompok E :



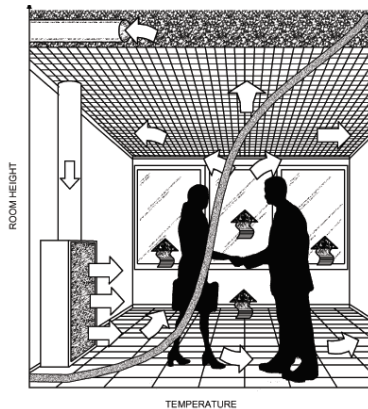
Gambar 2.13 Karakteristik udara pada keluaran kelompok E (ASHRAE Fundamentals Handbook, 2009).



2.6.2 Thermal Displacement Ventilation (TDV) Systems

Udara terkondisi dengan. Temperatur sedikit di bawah tempertur ruangan yang dikondisikan dengan dialirkan dari keluaran (*outlets*) udara dengan kecepatan rendah. Keluaran ditempatkan pada lantai dekat dengan lantai dan udara masuk kedalam masukan (*inlets*) yang dialirkan langsung ke daerah yang dikondisikan. Diffuser udaraa balik ditempatkan dekat plafon atau pada plafon yang dimana udara panas ruangan dikeluarkan. Udara masukan disebarkan di atas lantai, kemudian naik ke atas karena dipanaskan oleh sumber-sumber panas pada daerah yang dikondisikan (misalnya: manusia, komputer, lampu, dll) menyebabkan aliran konveksi ke atas dalam bentuk *convective plume* yang mengeluarkan kalor dan kontaminan yang mempunyai berat jenis lebih kecil dari udara di ruangan yang dikondisikan.

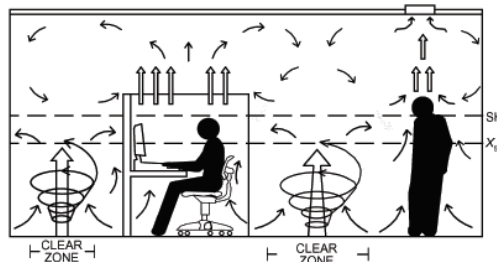
Volume udara pada *plume* bertambah dengan naiknya *plume* karena volume memasukkan udara sekeliling. Permukaan stratifikasi berada di suatu lapisan udara dimana laju aliran udara pada plume sama dengan laju lairan udara masukkan sehingga dua daerah yang berbeda kemudian terbentuk pada ruangan. Daerah dibawah stratifikasi yang dimana tidak ada aliran putaran balik dan ketinggian daerah tersebut tergantung pada laju aliran udara masukan, karakteristik sumber panas dan distribusinya pada lantai.



Gambar 2.14 Skema TDV systems (ASHRAE *Fundamentals Handbook*, 2009).

2.6.3 UnderFloor Air Distribution (UFAD) Systems

Udara dialirkan melalui lantai ruangan pada daerah yang dikondisikan. Pada sistem UFAD berbeda dari sistem TDV terutama dalam cara pengiriman udara ke ruangan. Pada UFAD, udara disuplai pada kecepatan yang lebih tinggi melalui keluaran dengan dimensi yang lebih kecil. Pada umumnya keluaran terletak di bawah penghuni seperti, pada bangku kantor, tempat duduk di gedung-gedung pertunjukan dan gedung-gedung bioskop atau tempat-tempat kerja pada gedung industri.

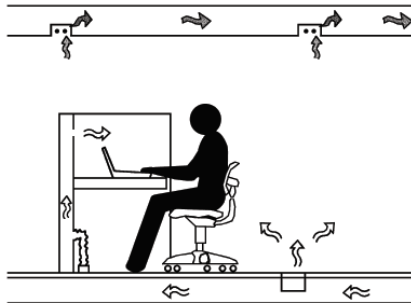


Gambar 2.15 Skema UFAD Systems (ASHRAE *Fundamentals Handbook*, 2009).



2.6.4 Task/Ambient Conditioning (TAC) systems

Sistem ini merupakan sistem yang paling sering diinstal dengan *under floor air distribution system*. TAC memberikan individu control atas lingkungan lokal tanpa merugikan individu lain yang didekatnya. Penghuni ruangan yang memakai sistem ini dapat mengontrol kecepatan, arah, dan suhu. Sistem TAC biasanya paling sering dipasang di perkantoran terbuka.

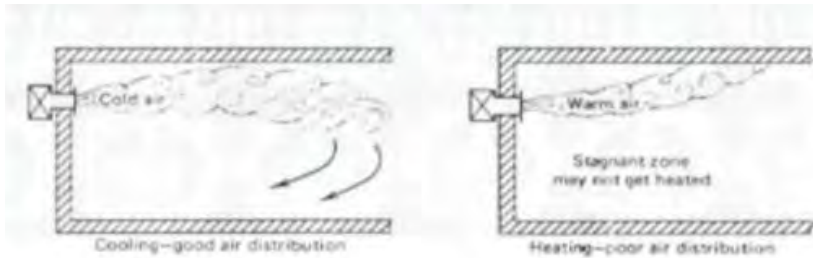


Gambar 2.16 skema *TAC systems* (ASHRAE *Fundamentals Handbook*, 2009).

2.7 Letak Keluaran Udara

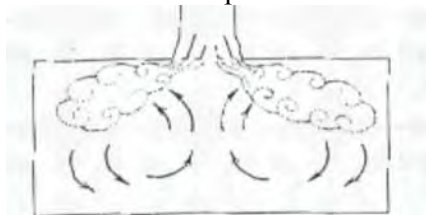
Letak tempat dari pendistribusi udara didalam ruangan adalah hal yang perlu diperhatikan dalam mendapatkan distribusi udara yang baik. Berikut ini adalah macam-macam letak saluran alat distribusi udara :

- a. Dinding atas (gambar), letak ini baik untuk pendinginan, karena udara dingin akan turun secara natural, tapi letak ini tidak baik untuk pemanasan, karena udara hangat akan naik.



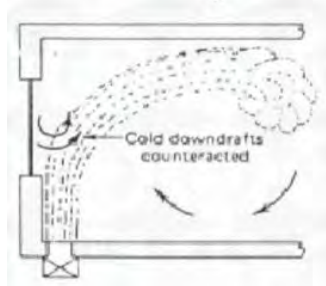
Gambar 2.17 Letak keluaran di dinding atas (edward G. Pita)

- b. Atap (gambar), letak ini sangat baik untuk pendinginan karena udara dingin akan turun secara natural, tetapi sangat tidak cocok untuk pemanasan.



Gambar 2.18 Letak keluaran di atap menghasilkan distribusi yang baik untuk pendinginan (Edward G. Pita)

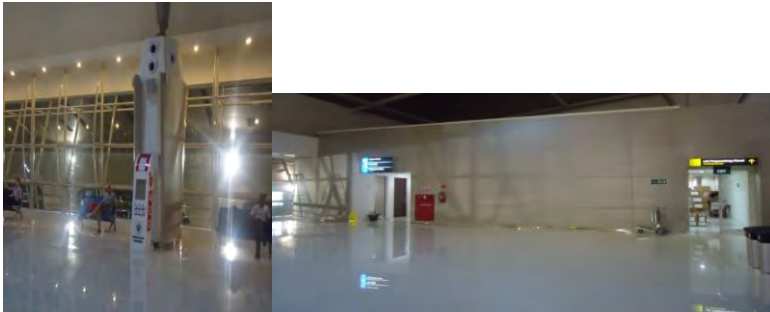
- c. Dinding bawah, letak ini baik untuk pemanasan karena udara hangat akan naik secara natural.
- d. Atap (gambar), letak ini sangat baik untuk pendinginan karena udara dingin akan turun secara natural, tetapi sangat tidak cocok untuk pemanasan.



Gambar 2.19 Letak keluaran di lantai bagian bawah jendela menghasilkan distribusi yang baik untuk pemanasan (Edward G. Pita)

2.8 Ruang Consession 1 Pada Lantai 2 Bandara Udara Internasional Juanda Surabaya

Pada ruang Consession yang terletak di lantai 2 memiliki kondisi temperatur pada $25^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$ dengan kelembaban relatif (RH) sebesar 55% dengan toleransi $\pm 10\%$. Ruang consession 1 ini mempunyai dimensi yaitu 60250 mm x 19870 mm x 4800 mm, didalamnya terdapat 32 *diffuser*, 16 RAG, 32 lampu untuk penerangan, dan sejumlah layar monitor. Menurut RKS ME tentang spesifikasi teknis pekerjaan mekanikal dan elektrik, untuk ruang consession 1 sendiri mempunyai kapasitas FCU sebesar 205,650 btu/hour dengan *air flow* sebesar 6400 cfm. Untuk 1 FCU pada ruangan ini dihubungkan dengan 8 *ducting* yang menghubungkan FCU dengan *diffuser* sehingga untuk 1 *diffuser* sendiri memiliki debit sebesar 800 cfm. Gambar dibawah ini adalah gambar dari ruang consession 1 yang akan disimulasikan.



Gambar 2.20 Ruang tunggu lantai 2 Terminal 2 Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya

2.9 Numerical Modeling

2.9.1 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational fluid dynamics (CFD) merupakan perangkat analisa system dengan melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, *momentum*, perpindahan energi, dan fenomena aliran lain didasarkan simulasi berbantuan computer. CFD hakekatnya adalah perangkat *software* menggunakan *finite volume method* dengan memperlakukan fluida menjadi volume kecil-kecil dan melalui algoritma tertentu untuk menyelesaikan persamaan *Navier-Stokes*. Simulasi menggunakan CFD menghasilkan parameter-parameter penting seperti tekanan, suhu, kecepatan, dan laju alir massa (*mass flow rate*). Analisa menggunakan CFD diperlukan pemahaman dan pengetahuan dasar bidang mekanika fluida untuk interpretasi hasil-hasil simulasi. Penyederhanaan CFD terdiri dari tiga tahapan proses pengerjaan, yaitu *preprocessing* (spesifikasi geometri, pemilihan *turbulence model*, spesifikasi *parameter* dan *grid generation*) kemudian *postprocessing* (*visualization* dan *treatment data*).

Sampai saat ini, CFD telah banyak digunakan dalam bidang aplikasi, baik untuk keperluan riset optimasi desain maupun untuk aplikasi praktis. Beragam industri dari *biomedical* dan farmasi sampai industri perminyakan dan *refinery* semua memanfaatkan untuk menganalisa sistem. Industri farmasi



menggunakan untuk mensimulasikan enzim-enzim dalam tubuh manusia. Industri *refinery* menggunakan untuk mensimulasikan aliran ekstraksi gas-gas. Untuk optimasi desain, *aerodynamics* menggunakan untuk analisa *lift* dan *drag*. *Hydrodynamics* menggunakan untuk simulasi beban dinamis gelombang. *Power plant* memakai untuk mensimulasikan pembakaran dan perpindahan panas. *Turbomachinery* menggunakan untuk menganalisa aliran dalam *rotating passage*. *Electronic engineering* menggunakan untuk simulasi pendinginan *microcircuits*. *Chemical engineering* menggunakan untuk simulasi proses *mixing*. *Building engineering* menggunakan untuk analisa beban dinamis. *Marine engineering* menggunakan untuk simulasi beban *offshore structures*. *Environmental engineering* memakai untuk simulasi distribusi *pollutants*. *Hydrology* dan *oceanography* memanfaatkan untuk simulasi aliran sungai, pantai, dan laut. *Metrology* menggunakan untuk prediksi cuaca.

2.9.2 Deskripsi Turbulence Model

A. Spallart-Almaras

Persamaan single transport untuk menyelesaikan *modified turbulent viscosity* secara langsung. Didesain secara spesifik untuk aliran yang terikat dengan wall dan memiliki *mesh* yang baik di sekitar wall. Model ini cocok untuk *meshing* dengan ukuran yang besar. Tidak maksimal untuk mensimulasi aliran 3D yang bebas tegangan geser dan separasi yang kuat.

B. Standard K- ϵ

Berdasar dari persamaan *two transport* dengan menggunakan k dan ϵ . Model ini dapat menyelesaikan kasus *viscous heating*, *buoyancy*, dan *compressibility* yang dapat diselesaikan model k - lainnya. Hanya valid untuk aliran yang *fully turbulent*. Kinerja buruk untuk aliran kompleks yang meliputi separasi dan *strong stream line curvature*.



C. RNG K- ϵ

Salah satu dari variasi K- ϵ . Persamaan dan koefisien diturunkan secara analitis. Baik digunakan untuk *highly strained flows*, memprediksi *swirling*, dan aliran dengan bilangan Reynolds yang rendah.

D. Realizable K- ϵ

Variasi dari pemodelan K- ϵ , variasi ini memungkinkan menentang konstrain matematis sehingga dapat meningkatkan performa dari pemodelan ini. Model ini lebih akurat dan lebih mudah konvergen dibanding RNG.

E. Standard K- ω

Model persamaan *two transport* dengan menggunakan k dan ω . Menunjukkan hasil yang sangat baik untuk aliran dengan bilangan Reynolds yang rendah dan aliran yang terikat oleh wall. Model ini juga cocok untuk *transitional*, *free shear*, dan *compressible flows*. Kelebihan lainnya model ini juga dapat mensimulasikan aliran dengan *boundary layer* yang kompleks dengan *adverse pressure gradient* dan separasi.

F. SST K- ω

Variasi dari model K- ω , mengkombinasikan original Wilcox model (1988) dengan standard K- ω model menggunakan *blending function*. Pemodelan ini sangat dipengaruhi oleh jarak terhadap wall sehingga tidak cocok untuk *free shear flows*. Selain itu, model ini juga tidak dapat digunakan untuk *compressible flow*.

G. RSM (Reynolds Stress Model)

Merupakan model yang paling teliti dari Fluent. Model ini melakukan kalkulasi tanpa menggunakan asumsi *isotropic viscosity*. Model ini digunakan untuk *highly swirling flows*. Model ini lebih sulit untuk konvergen karena menyertakan



persamaan-persamaan tambahan. Sangat baik untuk aliran 3D kompleks dengan *strong streamline curvature* dan *strong swirl*.

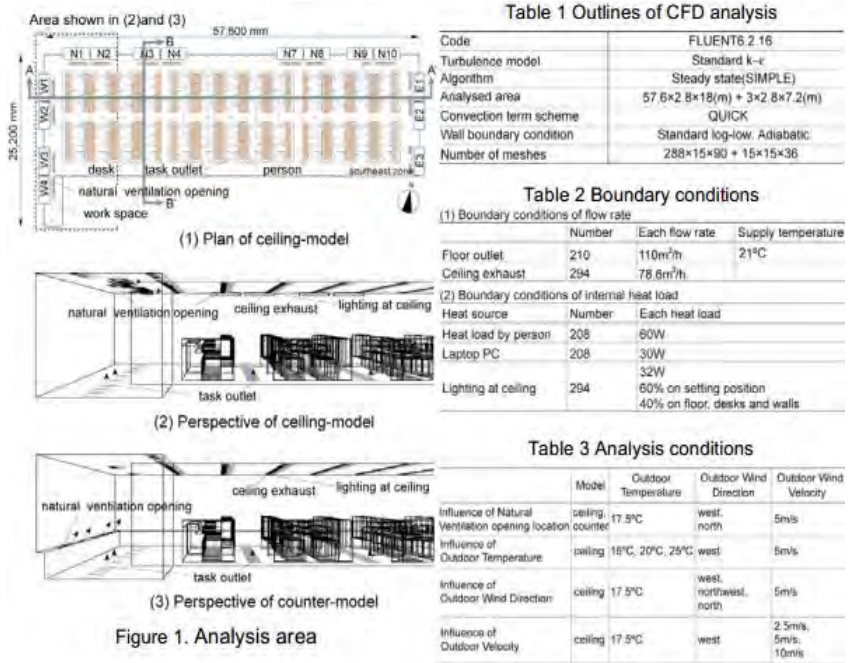
2.10 Penelitian Terdahulu

2.10.1 Ensu Lim, 2007

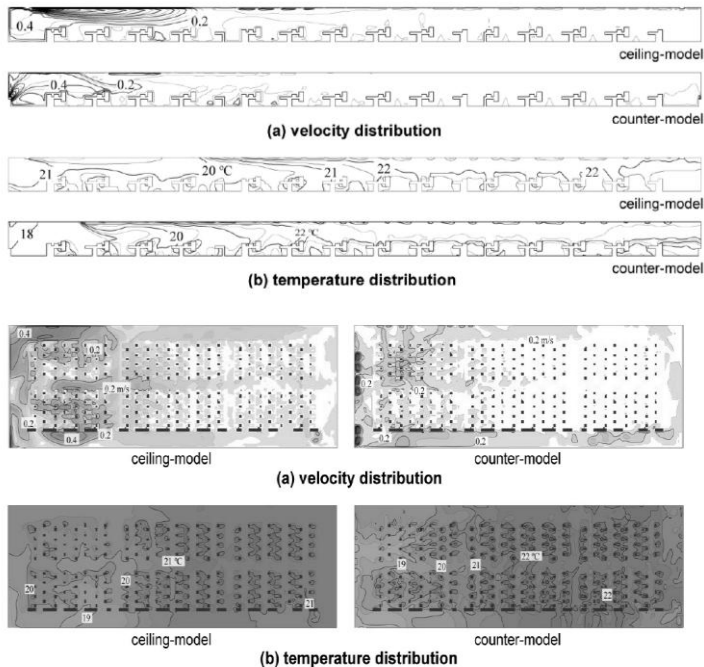
Pada tahun 2007, Penelitian yang dilakukan oleh Ensu Lim ini berjudul “CFD Analysis of Air Flow Characteristics in Office Room with Task Air Conditioning and Natural Ventilation”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh pembukaan ventilasi natural di ruang kerja dengan model sistem pengkondisian udara *Task Air Conditioning (TAC)*.

Pada kasus ini terdapat 2 variasi yang akan dimodelkan. Permodelan pertama, ventilasi alami ini terletak pada plafon ruangan. Pada permodelan kedua, ventilasi alami ini terletak dibawah jendela ruangan. Ruangan yang akan disimulasikan merupakan ruang kerja yang terletak di perkantoran kota osaka, jepang. Dimana ruangan ini juga terletak di gedung pada lantai 30.

Laju aliran yang akan disimulasikan pada ventilasi sebesar 5m/s. Pada permodelan pertama ukuran bukaan ventilasi alami adalah 120x10 cm dan udar luar itu di pasok k dalam ruangan dengan sudut sebesar 20° ke arah masuk ruangan. Pada permodelan kedua, ukuran bukaan ventilasi alami adalah 120x20 cm dan udaar dipasok ke ruang dengan sudut 45° ke arah masuk ruangan. Berikut adalah bentuk permodelan dan *boundary condition* pada *Fluent*.



Gambar 2.21 bentuk skema permodelan dan *boundary condition* pada *Fluent*



Gambar 2.22 Hasil analisis *velocity* dan *temperature* ruangan pada kedua kasus tersebut

Dari hasil analisis yang diperoleh, kecepatan udara berkisar 0,4-0,2 m/s dan untuk temperatur pada suhu 18°-22°. Penjangkauan udara luar yang masuk pada ruangan pada permodelan pertama (*ceiling model*) lebih jauh dari pada permodelan kedua (*counter model*). Hal ini membuktikan bahwa distribusi udara segar pada kasus pertama lebih baik dari pada kasus kedua.

2.10.2 Tengfei zhang, Qingyan (Yan) Chen, 2008

Tengfei zhang dan Qingyan (Yan) Chen melakukan penelitian tentang cabin pesawat, dengan judul “*Novel air distribution systems for commercial aircraft cabins* . Pada



Tugas Akhir Konversi Energi

penelitian ini, 3 sistem pengkondisian udara akan dibandingkan dengan cara simulasi. 3 Sistem pengkondisian udara yang akan dibandingkan adalah sistem campuran atau disebut *mixing air distribution system* (1), *underfloor displacement air distribution system* (2) dan *personalized air distribution system* (3). Perbandingan 3 sistem ini bertujuan agar menunjukkan bahwa *personalized air distribution system* memberikan kualitas udara terbaik tanpa resiko. Resiko yang dimaksud adalah resiko tertular penyakit dari penumpang yang satu ke penumpang yang lain. Cabin pesawat yang akan disimulasikan adalah cabin Boeing 767-300 aircraft. Gambar Skema permodelan dan tabel *boundary condition* untuk permasalahan ini dapat dilihat seperti berikut.

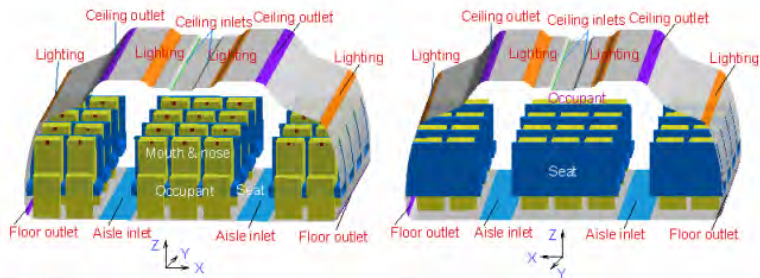


Fig. 5. Schematic of the mixing and under-floor displacement air distribution systems in a section of Boeing 767-300 cabin: left figure is for front view and right figure is for back view.

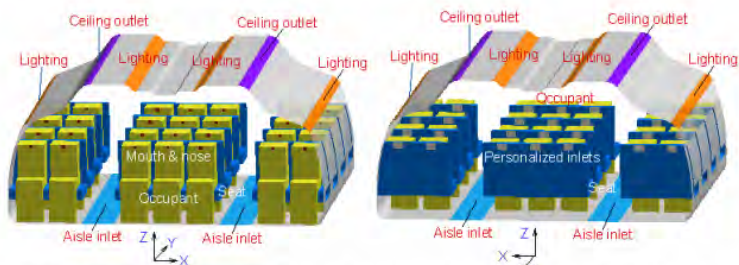


Fig. 6. Schematic of the personalized air distribution system in a section of Boeing 767-300 cabin: left figure is for front view and right figure is for back view.

Gambar 2.23 Skema permodelan untuk 3 sistem pengkondisian udara yang akan disimulasikan.



Table 1 Boundary conditions for the three cabin air distribution systems

Item	Mixing air distribution	Under-floor displacement air distribution	Personalized air distribution	
			Personalized inlets	Aisle inlets
Supply airflow rate	10 l/s per person	10 l/s per person	5 l/s per person	5 l/s per person
Supply air velocity	3.04 m/s	0.073 m/s	0.35 m/s	0.037 m/s
Supply air temperature	19.5°C	22.7°C	19.5°C	24.5°C
Supply CO ₂ concentration	850 ppm (air mixture)	850 ppm (air mixture)	350 ppm (outside air)	1350 ppm (recirculated air)
Ceiling temperature	22°C	25.5 °C		24.5°C
Temperature of side wall above window	21.0°C	21.0°C		20.0°C
Window temperature	16.0°C	16.5°C		16.0°C
Temperature of side wall below window	22.0°C	20.0°C		21.0°C
Floor temperature	23.0°C	22.0°C		22.5°C
Temperature of lighting surfaces	24.7°C	29.0°C		31.0°C
Temperature of occupant surfaces	30.3°C	30.3°C		30.3°C

Tabel 2.1 boundary condition untuk 3 sistem pengkondisian udara yang akan disimulasikan.

Pada bagian cabin yang akan disimulasikan ini berisi 7 kolom dan setiap kolom berisi 4 baris kursi. Lebar maksimum kabin (arah sumbu X) sebesar 4,72 m, ketinggian (arah sumbu Z) sebesar 2,10 m, dan lebar lorong 0,48 m. Heat gain berasal dari lampu penerangan dan jumlah penumpang, yang dimana berisi 28 penumpang. Untuk *mixing* dan *under floor displacement air distribution system* terdapat 4 inlet dan 4 outlet, masing-masing berisi 2 pada plafon dan 2 pada lorong. Untuk *Personalized air distribution system*, tidak terdapat outlet pada bagian lantai dan inlet pada plafon. Perhitungan permodelan ini menggunakan *turbulence model* RNG k- model. Berikut adalah hasil dari simulasi *Fluent* yang menunjukkan aliran *Pathlines* dari *velocity magnitude*.

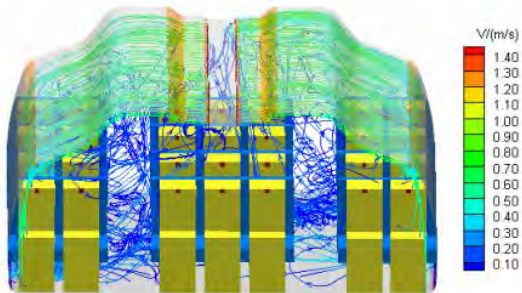


Fig. 7. Flow pathlines in the four-row cabin with the mixing air distribution.

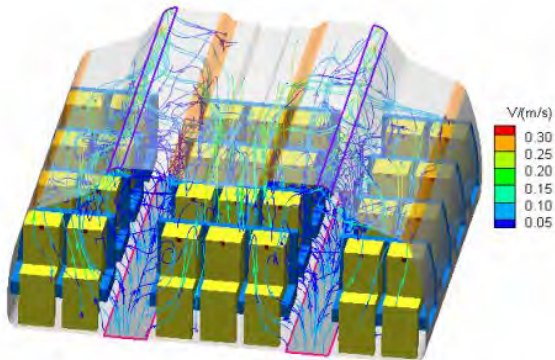


Fig. 8. Flow pathlines in the four-row cabin with the displacement air distribution.

Gambar 2.24 Hasil permodelan *Mixing* dan *Displacement Air Distribution* system

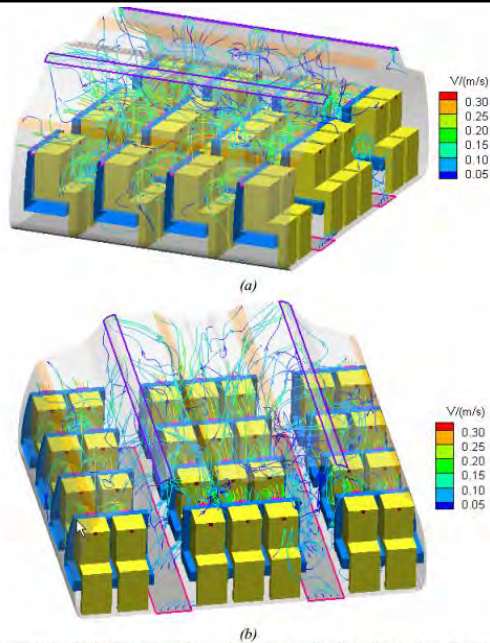


Fig. 9. Flow pathlines in the four-row cabin with the personalized air distribution: (a) side view; (b) front view.

Gambar 2.25 Hasil permodelan *Personalized Air Distribution System*

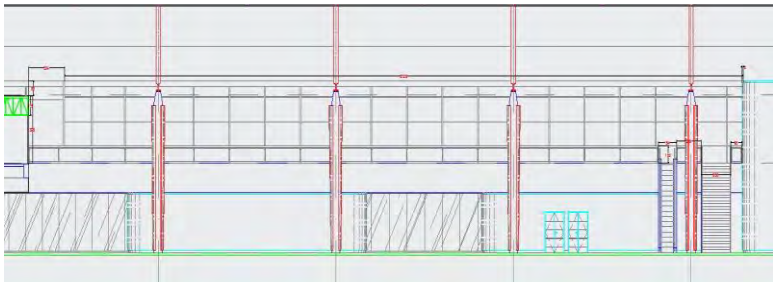
Hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa *mixed air distribution system* memiliki kecepatan udara yang tinggi dan suhu yang seragam. Hal ini yang membuat penyakit lebih mudah menular. Untuk *displacement air distribution system* memiliki sedikit kemungkinan untuk penyakit menular di daerah tempat duduk. *Personalized air distribution system* memilki konsentrasi udara yang kecil dan distribusi kecepatan udara yang tidak terlalu besar sehingga sistem inilah yang paling efektif untuk menghilangkan resiko penyebaran penyakit menular di dalam kabin.



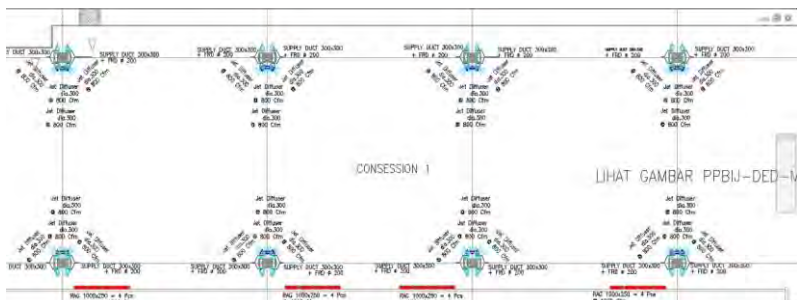
“Halaman ini sengaja dikosongkan



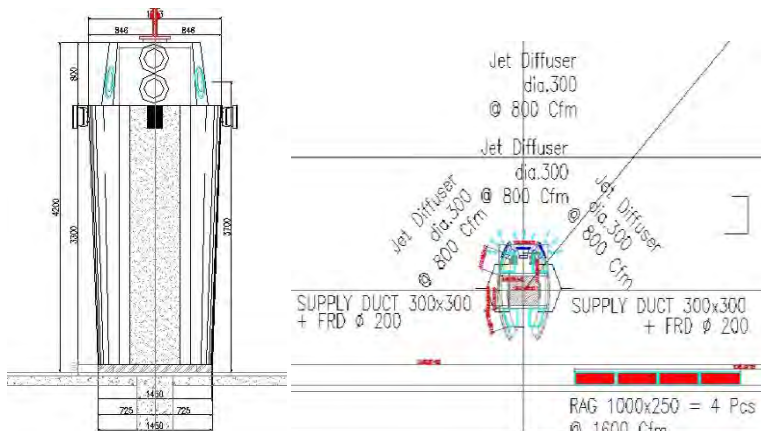
Tugas Akhir Konversi Energi



Gambar 3.2 Denah ruangan tampak samping



Gambar 3.3 Denah ruangan tampak atas



Gambar 3.4 denah diffuser pada tiang dan RAG (Rectanguler Air Grill)



Keterangan :

- Dimensi Ruang : 57290 mm x 19870mm x 4800 mm
- *Inlet (diffuser)* : \varnothing 300 mm
- *Outlet (RAG)* : 1000 mm x 250 mm
- Tiang : 1450 mm x 990 mm x 4200 mm
- Lampu : 300 mm x 300 mm
- *Diffuser* yang digunakan adalah *jet diffuser* dengan laju aliran volume sebesar 800 cfm(ft³/min).
- *Outlet (RAG)* memiliki kecepatan van sebesar 1600 cfm(ft³/min).

2. Peralatan dan kondisi ruangan

Data peralatan yang digunakan dapat dilihat di **tabel 3.1**. Untuk data monitor tidak dicantumkan, karena tidak menghasilkan beban panas yang begitu besar, hal ini dikarenakan jumlah yang sedikit dan ruangan yang besar. Perolehan kalor tiap-tiap data, Penumpang diperoleh dari “*ASHRAE Fundamentals Handbook, 2009*” data lampu dari desain PT. WASKITA KARYA. Nilai diperoleh sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data Peralatadalan di dalam Ruangn

Benda	Beban yang dihasilkan (watt)
Manusia	@250 BTU/hour = 73 watt
Lampu down light PLC	@2x18 watt

3.2 Langkah-langkah Permodelan Numerik

Dalam tahap ini dilakukan permodelan dengan menggunakan *software* CFD. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur dan kecepatan aliran udara yang melewati *inlet* pada diffuser. Pada tahap ini akan dibagi menjadi tiga proses yaitu *preprocessing*, *processing*, dan *post-processing*.

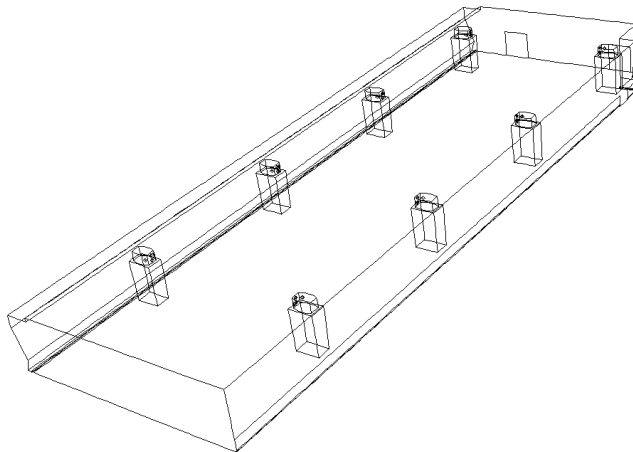


3.3 Tahap *Pre-Processing*

Tahap *pre-processing* merupakan tahap awal untuk menganalisa pemodelan *computational fluid dynamics*. Dalam tahap ini terdiri dari pembuatan geometri, *meshing*, dan penentuan domain.

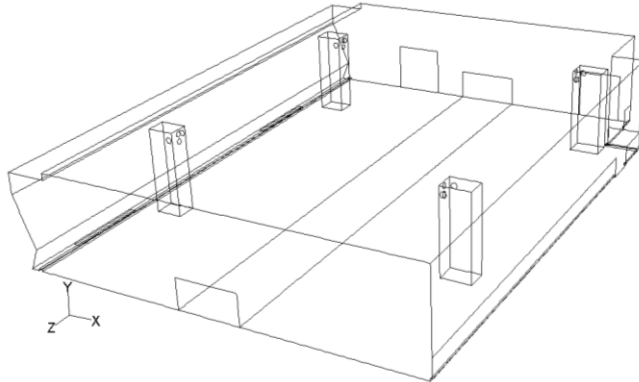
1. Geometri

Dalam proses pemodelan ini digunakan analisa 3D dari ruangan. Berikut ini adalah bagian-bagian dari yang digambar dengan menggunakan *software*. Untuk mempermudah proses permodelan dan proses *meshing* maka pemodelan ruangan ini dilakukan dengan simplifikasi terhadap bentuk-bentuk yang kompleks
Gambar 3.2



Gambar 3.5 permodelan ruangan

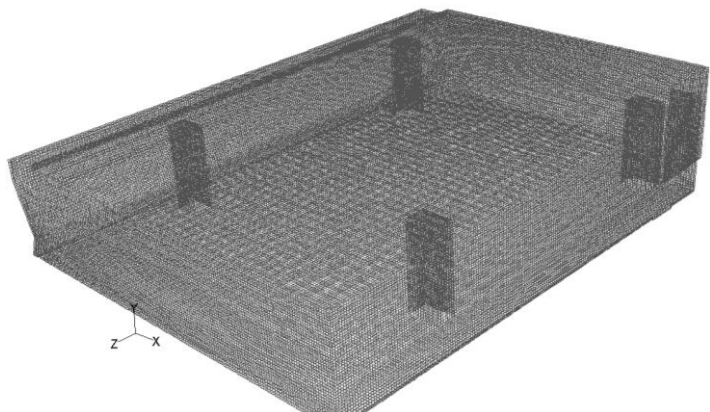
Untuk mempermudah dalam *meshing* maka dari permodelan ini dilakukan simplifikasi. Simplifikasi ini dilakukan agar hasil *meshing* diharapkan jauh lebih baik sehingga dapat membuat simulasi yang mendekati keadaan sebenarnya. Proses ini hanya merubah sedikit geometri. Hasil dari simplifikasi adalah sebagai berikut



Gambar 3.6 permodelan ruangan(simplifikasi)

2. Meshing

Pembuatan *mesh* elemen hingga (*meshing*) adalah pembagian model solid menjadi elemen-elemen kecil sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan ke dalam elemen-elemen tersebut. berikut merupakan meshing dari permodelan(simplifikasi)



Gambar 3.7 Meshing grid



3.4 Processing

Processing merupakan langkah kedua dalam melakukan simulasi numerik dengan *computational fluid dynamics*. Dalam proses ini pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software CFD*. Terdiri dari beberapa tahap yaitu *setting energy equation*, *viscous model*, *operating condition*, *boundary condition*, *solution*, *initialize*, dan *monitor residual*.

3.4.1 Energy Equation

Penelitian yang dilakukan menggunakan persamaan energi karena adanya proses perpindahan panas, maka persamaan energi yang ada pada *software CFD* diaktifkan.

3.4.2 Pemilihan Turbulence Modelling

Model yang digunakan adalah model turbulen model $k-\epsilon$ standard. Karena digunakan untuk mengetahui distribusi temperatur dan *velocity* pada ruangan.

3.4.3 Material

Dalam tahap ini dilakukan pengaturan *properties* fluida masuk berupa udara dengan temperatur sebesar 18°C (=291 K). *Properties* diperoleh dengan melihat tabel A.4 untuk udara pada buku “*Fundamental Heat and Mass Transfer sixth edition*”, yang kemudian ditabelkan pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 *Properties* Fluida (Udara Yang Dimasukkan Sebagai Gas Ideal)

<i>Properties</i> Fluida	Nilai
Temperatur <i>inlet</i> (K)	291
ρ atau <i>Density</i> (kg/m ³)	1,203
c_p atau Panas spesifik (kJ/kg.K)	1,0069
μ atau <i>Viskositas absolute</i> (N.s/m ²)	1,801 e-05
k atau <i>Thermal Conductivity</i> (W/m.K)	25,6 e-03



3.4.4 *Boundary Condition*

Boundary condition merupakan penentuan kondisi parameter dan batasan aliran yang didapat dari data actual, yang menentukan kecepatan, temperatur, tekanan, dan laju aliran pada inlet, outlet, dan wall. Informasi variabel yang akan disimulasikan dimasukkan sebagai parameter nilai untuk setiap *boundary condition*. Variasi beban pendinginan didapatkan dari perbedaan jumlah penumpang yang diambil pada waktu siang hari dan malam hari, untuk siang hari penumpang berjumlah 160 orang, sedangkan untuk malam hari penumpang berjumlah 320 orang. Pada simulasi ini menggunakan kondisi batas yang terlihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 *Boundary Condition*

<i>Coundary Condition</i>	keterangan
Atap	<i>wall</i>
dinding depan	<i>wall</i>
kaca	<i>wall</i>
lantai	<i>wall</i>
pagar	<i>wall</i>
tiang kanan	<i>wall</i>
tiang kiri	<i>wall</i>
<i>diffuser</i>	<i>inlet</i>
lampu	<i>wall</i>
manusia	<i>fluid</i>
ruang hampa	<i>outlet</i>
<i>RAG</i>	<i>exhaust-fan</i>



Tugas Akhir Konversi Energi

Perolehan data-data tersebut adalah didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

1. Inlet

Inlet disini menentukan aliran fluida yang mengalir pada domain fisis dari model *FLUENT 6.3.26*. Dalam kasus ini, berdasarkan data yang didapatkan jet diffuser deangan diameter 30 cm (0,3 m) memiliki debit sebesar 800 cfm(ft³/m). Maka kecepatan inlet didapatkan

$$Q = 800 \frac{ft^3}{min} = 800 \times \frac{0,3^3}{60} = 0,36 \frac{m^3}{s}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,36 \frac{m^3}{s}}{\pi \times (0,15)^2 m^2} = 5,091 \frac{m}{s}$$

2. Wall

Berikut ini adalah rumus untuk mencari nilai *heat flux* untuk masing-masing beban pendinginan (lampu dan penumpang). Data *Q* tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1, sedangkan untuk *A* pada bidang yang menunjukkan beban pendinginan.

$$q'' = \frac{Q_{lampu}}{A_{lampu}} \text{ dan } q'' = \frac{Q_{manusia}}{A_{manusia}}$$

3. Outlet

1) Outflow

Syarat batas ini digunakan untuk memodelkan keluaran aliran udara.

2) Exhaust fan

Berdasarkan data yang didapatkan, *RAG(Rectangular Air Grill)* deangan dimensi 1000 x 250 memiliki debit sebesar 1600 cfm(ft³/m).

$$Q = 1600 \frac{ft^3}{min} = 1600 \times \frac{0,3^3}{60} = 0,72 \frac{m^3}{s}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,72 \frac{m^3}{s}}{(1 \times 0,25) m^2} = 2,88 \frac{m}{s}$$



3.4.5 Initialize

Initialize merupakan data masukan awal sebagai acuan *software* untuk melakukan kalkulasi. *Initialize* dapat di input dari kondisi batas sisi masuk, sisi keluar, dan lain lain. Pada penelitian ini kalkulasi dimulai dari sisi masuk, yaitu *inlet diffuser*.

3.4.6 Monitor Residual

Monitor Residual adalah tahap penyelesaian masalah, berupa proses iterasi hingga mencapai harga konvergensi yang diinginkan. Untuk parameter *energy* sebesar 10^{-6} , sedangkan parameter lain diatur tingkat konvergensinya sebesar 10^{-4} .

3.5 Post-Processing

Merupakan tampilan hasil serta analisa terhadap hasil yang telah diperoleh. Penggunaan model numerik dapat menghasilkan kontur temperatur dan vektor kecepatan yang selanjutnya akan dianalisa mengenai distribusi temperatur dan kecepatan udara yang terjadi di dalam Ruang Consession 1 lantai 2 Terminal 2 Bandar Udara Internasional Juanda Sidoarjo. Kontur yang ditampilkan yaitu pada sumbu X (x/l), dan sumbu Z (z/w) pada detik-detik yang akan ditinjau. Data kualitatif berupa visualisasi aliran dengan menampilkan pola aliran yang ditampilkan dengan kontur temperatur dan kecepatan.



3.6 Jadwal Alokasi Waktu Penelitian

Tabel 3.4 menunjukkan jadwal dari pelaksanaan penelitian yang dilakukan.

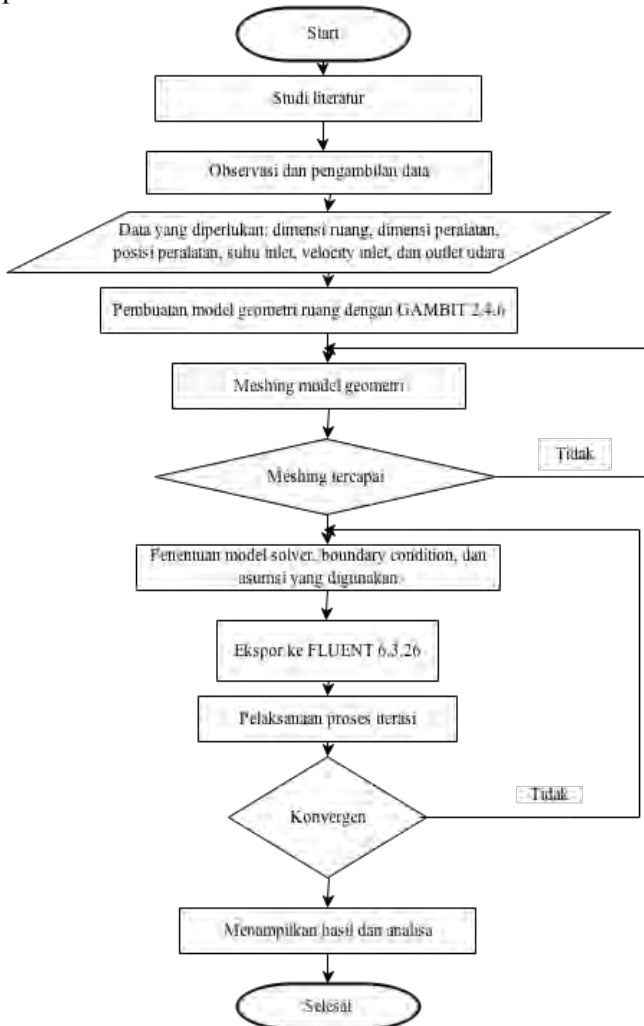
Tabel 3.4 Alokasi Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Bulan																							
		Bulan ke-1				Bulan ke-2				Bulan ke-3				Bulan ke-4				Bulan ke-5				Bulan ke-6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Pustaka dan Studi Literatur																								
2	Pengambilan Data																								
3	Pembuatan Model dengan GAMBIT																								
4	Pembuatan Domain dan Meshing pada Model																								
5	Iterasi Software CFD dan Post-Processing Data																								
6	Penulisan Laporan Tugas Akhir																								
7	Seminar Proposal																								
8	Sidang Tugas Akhir																								



3.7 Flowchart Penelitian

Prosedur penelitian ini dapat dijelaskan dengan *flowchart* pada Gambar 3.5



Gambar 3.8 *Flowchart* penelitian



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Simulasi distribusi kecepatan udara dan temperatur pada ruang consession 1 lantai 2 Terminal 2 Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya menggunakan *software CFD* dengan model tiga dimensi. Hasil *post-processing* dari pemodelan ini meliputi kontur serta vektor kecepatan dan temperatur dari ruang consession 1 lantai 2 Terminal 2 Bandar Udara Internasional Juanda Sidoarjo. Udara dingin masuk ke dalam ruangan dengan kecepatan penuh yaitu 5,091 m/s melalui bukaan *inlet diffuser*. Dengan *density* yang lebih besar maka udara dingin akan turun perlahan, sedangkan aliran udara *supply* dari *inlet diffuser* mengalami kehilangan kecepatan dan menyebar lebih luas ketika mencapai lantai. Persebaran aliran udara hingga menyentuh lantai juga dipengaruhi oleh tekanan rendah di bukaan *outlet*. Karena pengaruh ini maka sebagian besar aliran udara utama ditarik menuju dan keluar melalui *outlet* dengan peningkatan kecepatan dalam gerakan melingkar. Hal ini dikarenakan sifat aliran udara tidak mampu membuat aliran berbelok secara tiba-tiba.

Penelitian tugas akhir ini mensimulasikan secara *unsteady* distribusi temperatur dan kecepatan udara dari ruang consession 1 lantai 2 Terminal 2 Bandar Udara Internasional Juanda Sidoarjo dengan variasi beban pendinginan yang ditinjau saat siang hari dan malam hari. Variasi beban pendinginan didapatkan dari perbedaan jumlah penumpang di Ruang Keberangkatan saat siang dan malam hari, saat siang hari penumpang berjumlah 160 orang, sedangkan malam hari penumpang berjumlah 320 orang. Analisa *unsteady* dengan melakukan simulasi dari *software CFD* dengan perbedaan waktu yang ditinjau. Dimana perbedaan waktu ini didapatkan dari perhitungan sebagai berikut.

$$t = \frac{mxc_p \Delta T}{Q_{ruangan}}$$



Tugas Akhir Konversi Energi

Dengan diketahui volume ruangan sebesar m^3 dan debit inlet sebesar m^3/s , maka waktu untuk udara dingin mampu memenuhi seluruh ruangan didapatkan dari rumus berikut.

$$t = \frac{V_{ruangan}}{Q_{inlet}} = \frac{2435,727m^3}{16 \times 0,36m^3/s} = 422,87 \text{ s}$$

Setelah udara memenuhi ruangan, selanjutnya ruangan mulai mendinginkan. Waktu untuk udara dingin mulai mendinginkan ruangan dengan temperature 30°C pada siang hari, sedangkan pada malam hari 27°C . Dihitung dengan rumus berikut.

$$t = \frac{m x c_p x \Delta T}{Q_{ruangan}} ; \quad \text{Dimana } m_{udara} = \rho_u \cdot V_u$$

$$m = \rho x V_{ruang} = 1,20339 \frac{kg}{m^3} x 2435,727m^3 = 3073,672 \text{ kg}$$

$$t_{siang} = \frac{m x c_p x \Delta T}{Q_{ruangan}}$$

$$t_{siang} = \frac{3073,672 \text{ kg} x 1006,9 \frac{J}{kg \cdot K} x (303 - 295)K}{12184 \text{ W}}$$

$$t_{siang} = 2032,095 \text{ s}$$

$$t_{malam} = \frac{m x c_p x \Delta T}{Q_{ruangan}}$$

$$t_{malam} = \frac{3073,672 \text{ kg} x 1006,9 \frac{J}{kg \cdot K} x (300 - 295)K}{26784 \text{ W}}$$

$$t_{malam} = 1021,18 \text{ s}$$



Keterangan:

Q_{ruang} untuk siang hari = 24504 Watt

Q_{ruang} untuk malam hari = 48504 Watt

c_p = 1006,9 J/kg.K

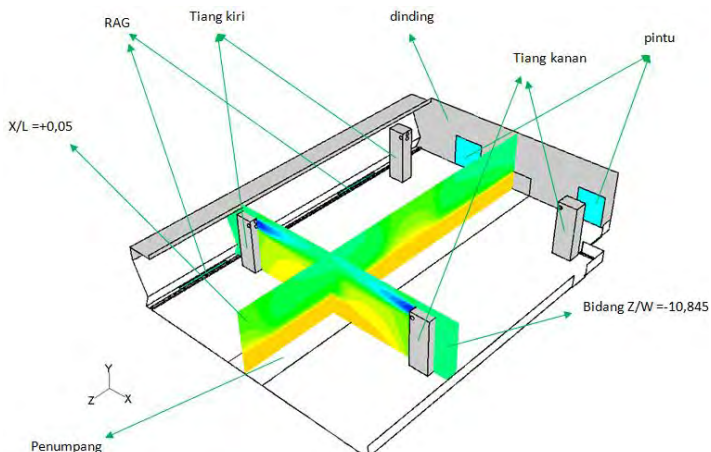
m_{udara} = massa udara (kg)

ρ_u = massa jenis udara (1,18473 m³/kg)

V_u = Volume udara (=volume ruangan) (m³)

Dari perhitungan ruang consession 1 lantai 2, ruangan tersebut mulai didinginkan dari temperatur ruangan pada selang waktu selama 2475,527 detik untuk variasi siang dan 1021,18 detik untuk variasi malam. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka diambil 3 variabel *range* waktu pada simulasi . Pengambilan pada detik yang udara belum tersebar secara merata yaitu pada detik ke-200 kemudian saat udara dalam ruangan sudah tersebar merata yaitu pada detik ke-1050 dan selanjutnya saat mencapai kondisi *steady* yaitu pada detik ke-2500.

Detik terakhir yang diambil adalah saat udara dingin telah memuhi ruangan serta ruangan telah didinginkan dari temperature ruangan semula sehingga saat kondisi ruangan telah *steady* bisa dilihat apakah ruangan dapat dikondisikan $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

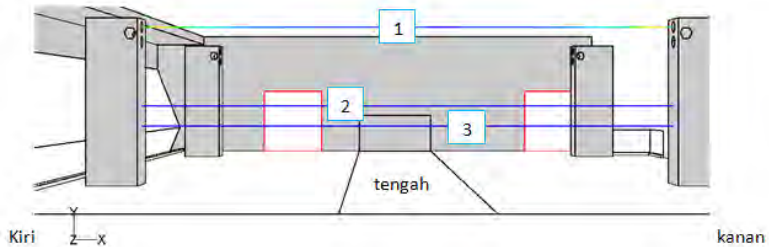


Gambar 4.1 Gambar plot *iso surface*



Tugas Akhir Konversi Energi

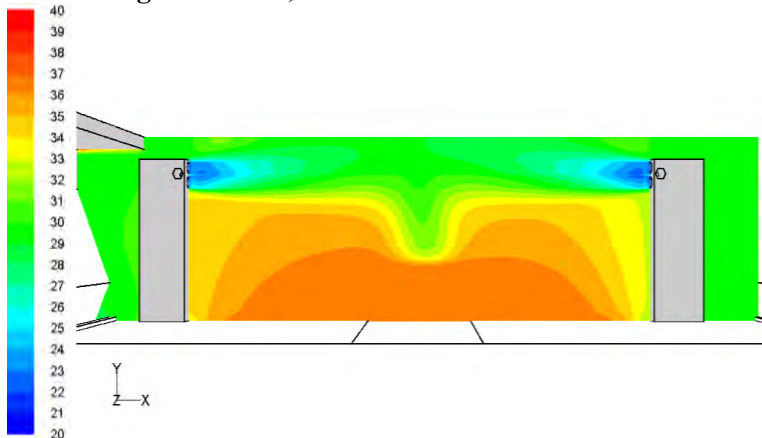
Selain itu, peninjauan temperatur juga dilakukan berdasarkan ketinggian, dimana ketinggian yang ditinjau adalah diffuser yang saling berhadapan pada tiang kiri dan tiang kanan (line 1), ketinggian 2 meter (line 2), dan ketinggian 1,5 meter (line 3). Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 4.2. Dari masing-masing tinjauan line dan *iso-surface*, kemudian dilakukan analisa pembahasan tentang kontur kecepatan, kontur temperature dan grafik temperatur yang terjadi di daerah tinjauan.



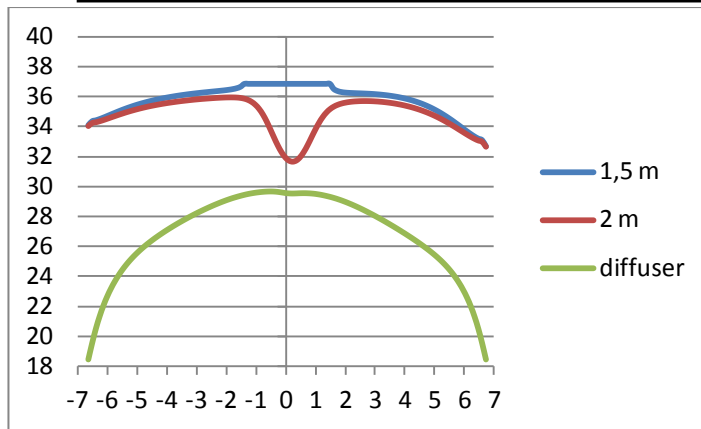
Gambar 4.2 Garis yang akan ditinjau

4.1 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan Siang Untuk Detik ke-200

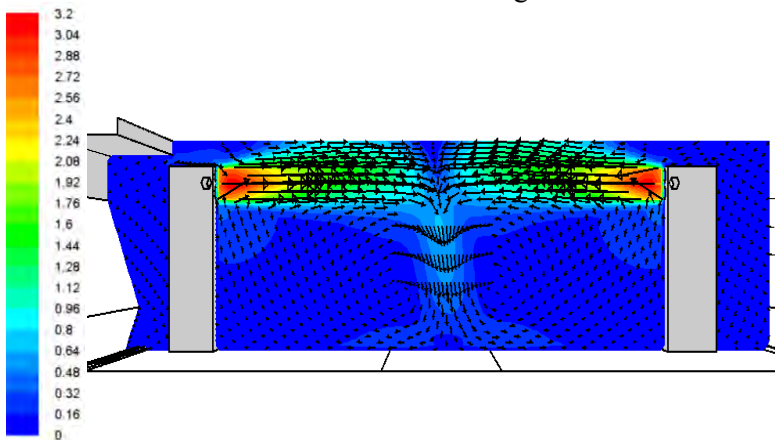
4.1.1 Bidang Z/W = -10,845



Gambar 4.3 Kontur temperatur bidang $z/w = -10,845$ untuk variasi siang



Gambar 4.4 Grafik distribusi temperatur vs jarak pada detik ke 200 untuk variasi siang



Gambar 4.5 Kontur Kecepatan Bidang Z/W = -10,845 Untuk Variasi Siang

Gambar 4.2 menunjukkan tentang kontur distribusi temperatur yang terjadi pada bidang Z/W= -10,845 untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-200. Pada kontur temperatur tersebut terlihat udara dingin mulai disebar ke ruangan melalui *inlet diffuser*. Temperatur udara yang keluar dari *inlet diffuser* pada tiang kiri dan kanan sebesar 18°C, dimana letak



Tugas Akhir Konversi Energi

kedua *inlet diffuser* tersebut saling berhadapan. Besar distribusi temperatur inlet diffuser yang saling berhadapan sebesar $20-22^{\circ}\text{C}$. Kontur temperatur untuk bagian kanan ruangan memiliki temperatur sebesar $29-33^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat ruang hampa temperatur udara sebesar 30°C . Kontur temperatur untuk bagian kiri ruangan memiliki temperatur sebesar $29-34^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat kaca temperatur udara sebesar 30°C dan didekat tiang udara sebesar $34-35^{\circ}\text{C}$. Secara dominan, temperatur udara masih temperatur semula, yaitu sebesar 30°C . Pada detik ini udara dingin masih belum menyebar dengan merata dan belum bisa mendinginkan ruangan.

Gambar 4.3 menunjukkan distribusi temperatur terhadap jarak. Dimana terdapat 3 variabel tinggi yang dipantau, yaitu tinggi *inlet diffuser* dan tinggi orang (2 meter dan 1,5 meter). Dari grafik menunjukkan bahwa temperatur yang keluar dari *inlet diffuser* sebesar 18°C baik pada *inlet diffuser* tiang kiri maupun *inlet diffuser* tiang kanan, dimana Temperatur tersebut terletak pada posisi -6,695 yang mewakili awal penyebaran udara inlet diffuser pada tiang kiri dan posisi +6,795 yang mewakili awal penyebaran diffuser pada tiang kanan. Pada ketinggian diffuser, tiang kiri posisi -6,695 m pada temperatur 18°C meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur $29,5^{\circ}\text{C}$ dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur 18°C grafik meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur $29,5^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa pendistributian temperatur diffuser simetris baik pendistribusian dari tiang kiri maupun tiang kanan.

Pada ketinggian 1,5 meter, posisi -6,695 m pada temperatur 34°C grafik meningkat terus hingga posisi -1,3875 m pada temperatur 37°C , dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur $32,7^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi 1,4875 m pada temperatur 37°C . Pada posisi -1,3875 hingga 1,4875 temperatur konstan sebesar 37°C , hal ini menunjukkan temperatur tubuh manusia. Pada temperatur tiang kanan lebih dingin dari temperatur tiang kiri, hal ini dikarenakan pada bagian kiri ruangan terdapat *heat gain* yang berasal dari lampu.



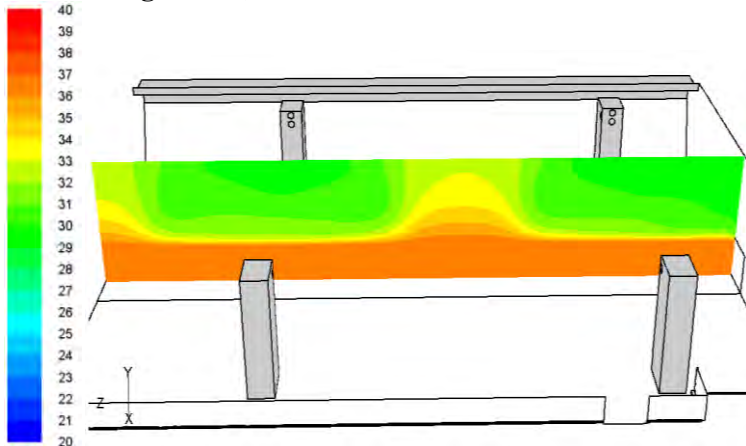
Tugas Akhir Konversi Energi

Pada ketinggian 2 meter, posisi -6,695 m pada temperatur 34°C grafik meningkat terus hingga posisi -1,3875 m pada temperatur 36°C, lalu pada posisi -1,3875 temperatur udara menurun hingga pada posisi 0,05 pada temperatur 31,5°C. Pada Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur 32,7°C grafik meningkat terus hingga posisi 1,4875 m pada temperatur 35°C, lalu pada posisi 1,4875 temperatur udara menurun hingga pada posisi 0,05 pada temperatur 31,5°C. Penurunan pada posisi -1,3875 hingga posisi 0,05 simetris dengan penurunan pada posisi 1,4875 hingga 0,05, hal ini menunjukkan bahwa penyebaran udara dingin pada ketinggian 2 meter mulai menyebar pada daerah tengah ruangan. Pada temperatur tiang kanan lebih dingin dari temperatur tiang kiri, hal ini dikarenakan pada bagian kiri ruangan terdapat *heat gain* yang berasal dari lampu.

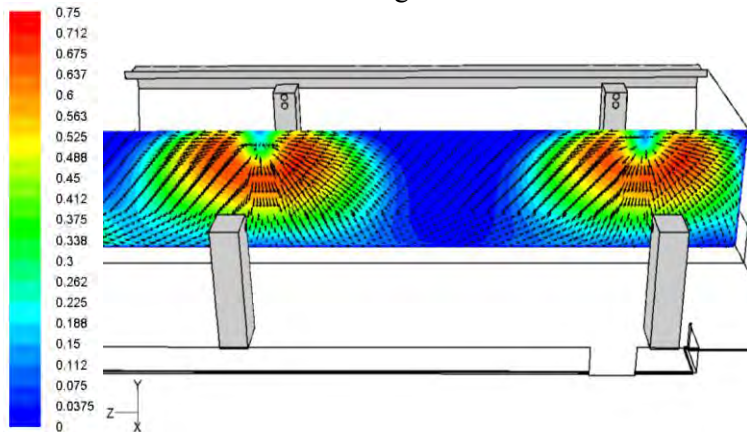
Gambar 4.4 menunjukkan distribusi vektor kecepatan yang terjadi pada bidang $Z/W = -10,845$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-200. Dari gambar tersebut terlihat bahwa udara mulai memasuki ruangan melalui *inlet diffuser* kemudian menyebar ke seluruh ruangan. Daerah berkecepatan tinggi yaitu sebesar 3,19 m/s terletak di daerah *inlet diffuser*. Kecepatan pada inlet diffuser tidak sebesar 5,091 m/s, hal ini diakibatkan adanya perbedaan temperatur ruangan dengan *inlet diffuser*. Udara bergerak lurus dari *inlet diffuser* yang terdapat di masing-masing tiang kiri dan kanan, kemudian bertemu di antara kedua tiang tersebut. Kemudian mulai jatuh kebawah dan menyebar ke kiri dan ke kanan dengan kecepatan sebesar 0,48-0,16 m/s. Udara pada sekitar lantai di dekat tiang baik pada tiang kiri maupun tiang kanan, mulai naik keatas. Hal ini dikarenakan pergerakan udara panas yang dihasilkan oleh manusia, dimana udara panas memiliki *density* yang rendah. Pada daerah dekat kaca terdapat kecepatan udara sebesar 0,16 m/s, hal ini menunjukkan bahwa udara terhisap oleh RAG.



4.1.2 Bidang $X/L=0,05$



Gambar 4.6 Kontur Temperatur Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi Siang



Gambar 4.7 Kontur Kecepatan Bidang $X/L = 0,05$ Untuk Variasi Siang

Gambar 4.5 menunjukkan tentang distribusi temperatur yang terjadi pada bidang $X/L = 0,05$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-200. Dari gambar tersebut terlihat udara dingin yang tersebar ke ruangan melalui *inlet*



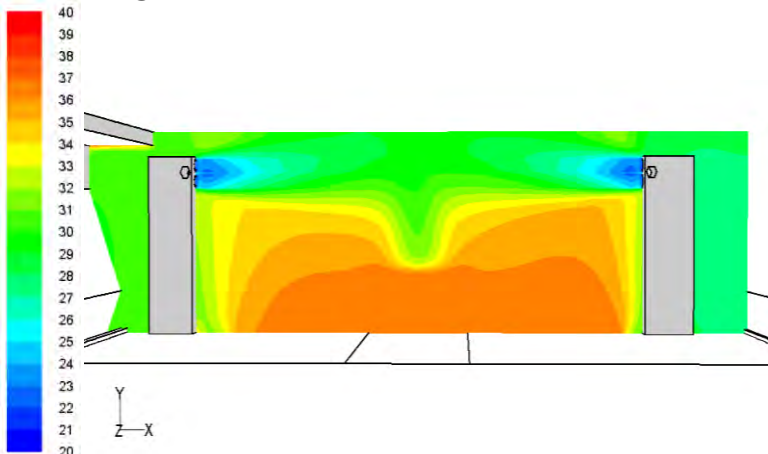
Tugas Akhir Konversi Energi

diffuser terjadi pada tiang yang berhadapan. Pada gambar terlihat temperatur pada tiang yang berhadapan sebesar 30°C . Sedangkan udara yang berada di tengah ruangan sebesar $33\text{--}35^{\circ}\text{C}$. Udara pada daerah tiang yang berdekatan dengan dinding jauh lebih dingin, Hal ini dikarenakan outlet pada dinding tidak terlalu berpengaruh sehingga udara berdistribusi dengan baik.

Gambar 4.6 menunjukkan tentang kontur kecepatan yang terjadi pada bidang $X/L = 0,05$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-200. Dari gambar tersebut terlihat bahwa udara yang keluar dari pertemuan inlet *diffuser* pada tiang kiri maupun tiang kanan mulai menyebar ke seluruh ruangan secara perlahan sebesar $0,75\text{--}0,15\text{ m/s}$. Pada detik ini, udara masih belum memenuhi ruangan sepenuhnya.

4.2 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan Siang Untuk Detik ke-1050

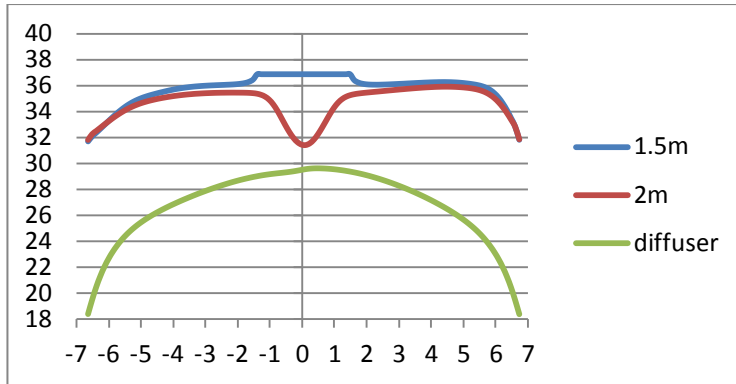
4.2.1 Bidang $Z/W = -10,845$



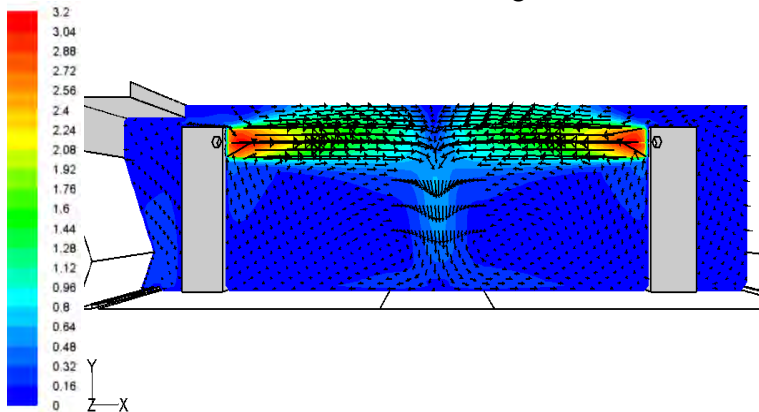
Gambar 4.8 Kontur temperatur bidang $Z/W = -10,845$ untuk variasi siang



Tugas Akhir Konversi Energi



Gambar 4.9 Grafik distribusi temperatur vs jarak pada detik ke 1050 untuk variasi siang



Gambar 4.10 Kontur Kecepatan Bidang $Z/W=-10,845$ Untuk Variasi Siang

Gambar 4.7 menunjukkan tentang kontur distribusi temperatur yang terjadi pada bidang $Z/W= -10,845$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-1050. Pada kontur temperatur tersebut terlihat udara dingin mulai disebarkan ke ruangan melalui *inlet diffuser*. Temperatur udara yang keluar dari *inlet diffuser* pada tiang kiri dan kanan sebesar 18°C , dimana letak kedua *inlet diffuser* tersebut saling berhadapan. Besar distribusi temperatur inlet diffuser yang saling berhadapan sebesar $20-22^{\circ}\text{C}$



Kontur temperatur untuk bagian kanan ruangan memiliki temperatur sebesar $27-34^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat ruang hampa temperatur udara sebesar $27-29^{\circ}\text{C}$. Kontur temperatur untuk bagian kiri ruangan memiliki temperatur sebesar $29-34^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat kaca temperatur udara sebesar $29-30^{\circ}\text{C}$ dan didekat tiang udara sebesar $32-34^{\circ}\text{C}$. Secara dominan, temperatur udara masih temperatur semula, yaitu sebesar 30°C . Pada detik ini udara dingin masih belum menyebar dengan merata dan belum bisa mendinginkan ruangan.

Gambar 4.8 menunjukkan distribusi temperatur terhadap jarak. Dimana terdapat 3 variabel tinggi yang dipantau, yaitu tinggi *inlet diffuser* dan tinggi orang (2 meter dan 1,5 meter). Dari grafik menunjukkan bahwa temperatur yang keluar dari *inlet diffuser* sebesar 18°C baik pada *inlet diffuser* tiang kiri maupun *inlet diffuser* tiang kanan, dimana Temperatur tersebut terletak pada posisi -6,695 yang mewakili awal penyebaran udara inlet diffuser pada tiang kiri dan posisi +6,795 yang mewakili awal penyebaran diffuser pada tiang kanan. Pada ketinggian diffuser, tiang kiri posisi -6,695 m pada temperatur 18°C meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur $29,5^{\circ}\text{C}$ dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur 18°C grafik meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur $29,5^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa pendistributian temperatur diffuser simetris baik pendistribusian dari tiang kiri maupun tiang kanan.

Pada ketinggian 1,5 meter, posisi -6,695 m pada temperatur 32°C grafik meningkat terus hingga posisi -1,3875 m pada temperatur 37°C , dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur 32°C grafik meningkat terus hingga posisi 1,4875 m pada temperatur 37°C . Pada posisi -1,3875 hingga 1,4875 temperatur konstan sebesar 37°C , hal ini menunjukkan temperatur tubuh manusia. Pada detik ini, temperatur pada tiang kiri sama dengan temperatur pada tiang kanan.

Pada ketinggian 2 meter, posisi -6,695 m pada temperatur 32°C grafik meningkat terus hingga posisi -1,3875 m pada temperatur 35°C , lalu pada posisi -1,3875 temperatur udara



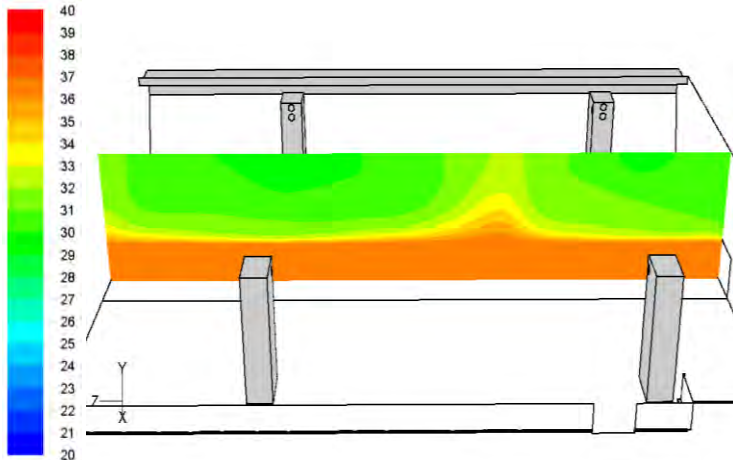
Tugas Akhir Konversi Energi

menurun hingga pada posisi 0,05 pada temperatur 31°C. Pada Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur 32°C grafik meningkat terus hingga posisi 3,5 pada temperatur 36°C, lalu temperatur udara menurun hingga pada pada posisi 1,4875 pada temperatur 35°C dan menurun lagi hingga pada posisi 0,05 pada temperatur 31°C. Penurunan pada posisi -1,3875 hingga posisi 0,05 simetris dengan penurunan pada posisi 1,4875 hingga 0,05, hal ini menunjukkan bahwa penyebaran udara dingin pada ketinggian 2 meter mulai menyebar pada daerah tengah ruangan. Pada detik ini, penyebaran udara dingin mulai meluas, hal ini dapat dilihat dari luasan kontur udara dingin yang meluas didekat tiang.

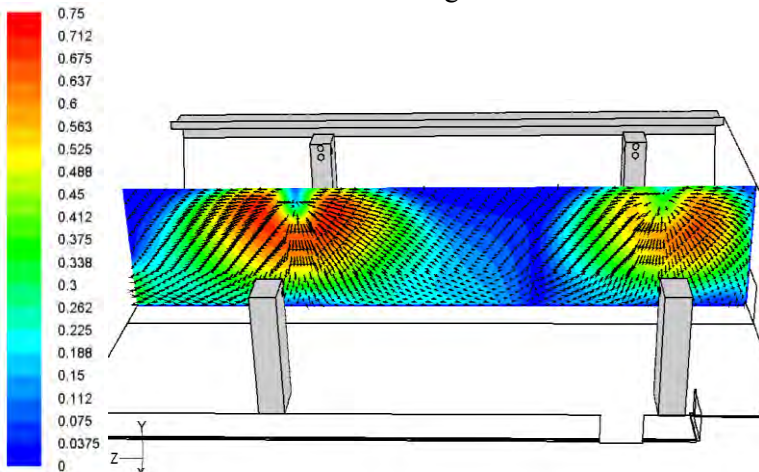
Gambar 4.4 menunjukkan distribusi vektor kecepatan yang terjadi pada bidang $Z/W = -10,845$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-1050. Pada detik ini, kecepatan penyebaran udara diffuser baik pada tiang kiri ataupun tiang kanan tetap. Tetapi pada daerah tengah ruangan penyebaran udara dingin mulai meluas, hal ini dapat dilihat bahwa daerah vektor kecepatan sebesar 0,48-0,16 m/s mulai meluas. Pada daerah dekat kaca luasan vektor kecepatan udara sebesar 0,32-0,16 m/s mulai meluas, hal ini menunjukkan bahwa udara terhisap oleh *RAG*. Pada detik ini, penyebaran udara lebih luas dari pada detik sebelumnya.



4.2.2 Bidang $X/L=0,05$



Gambar 4.11 Kontur Temperatur Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi Siang



Gambar 4.12 Kontur Kecepatan Bidang $z/w=0,05$ Untuk Variasi Siang

Gambar 4.10 menunjukkan tentang distribusi temperatur yang terjadi pada bidang $X/L=0,05$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-1050. Dari gambar tersebut



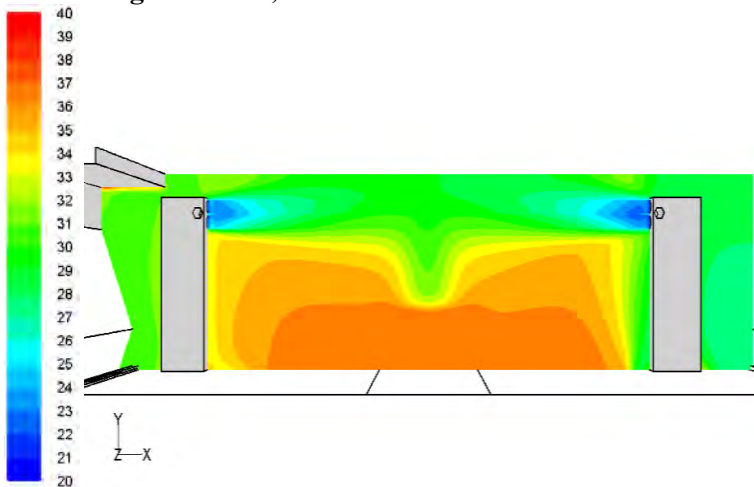
Tugas Akhir Konversi Energi

terlihat udara dingin yang tersebar ke ruangan melalui *inlet diffuser* terjadi pada tiang yang berhadapan. Pada gambar terlihat temperatur pada tiang yang berhadapan sebesar 30°C . Sedangkan udara yang berada di tengah ruangan sebesar $35\text{--}33^{\circ}\text{C}$. Luasan kontur temperatur udara dingin mulai membesar, hal ini menunjukkan bahwa pendinginan udara telah mencapai ruang tengah.

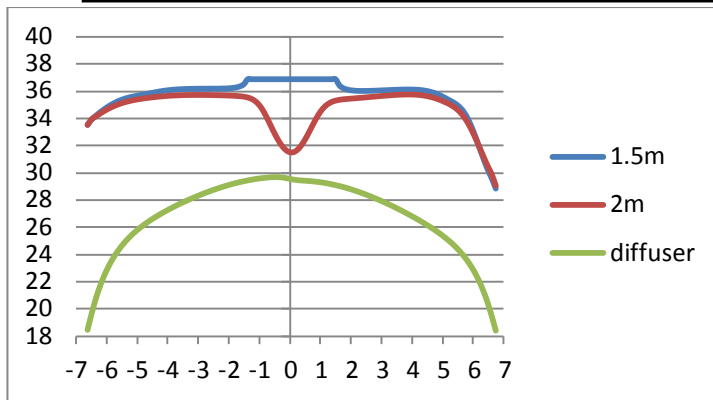
Gambar 4.11 menunjukkan tentang vektor kecepatan yang terjadi pada bidang $X/L = 0,05$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-1050. Dari gambar tersebut terlihat bahwa udara yang memiliki vektor kecepatan $0,75\text{--}0,112$ m/s lebih luas dari detik sebelumnya. Hal ini bisa dikatakan bahwa udara dingin mulai memenuhi ruangan bagian tengah.

4.3 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan Siang Untuk Detik ke-2500

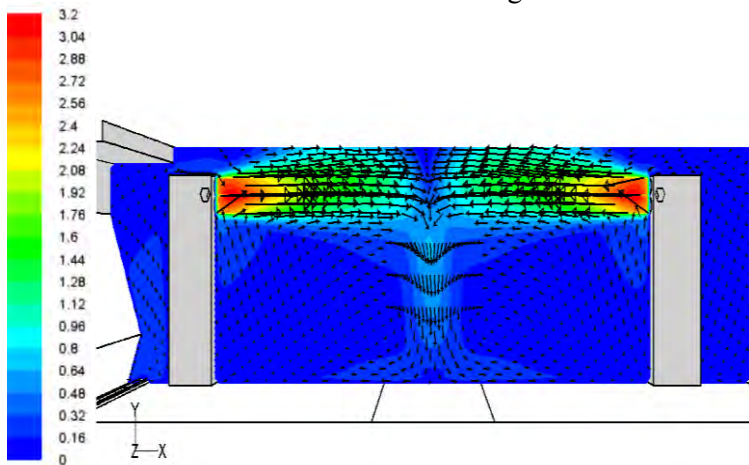
4.3.1 Bidang $Z/L = -10,845$



Gambar 4.13 Kontur Temperatur Bidang $Z/L=-10,845$ Untuk Variasi Siang



Gambar 4.14 grafik distribusi temperatur vs jarak pada detik ke 2500 untuk variasi siang



Gambar 4.15 Kontur Kecepatan Bidang $Z/L = -10,845$ Untuk Variasi Siang

Gambar 4.12 menunjukkan tentang distribusi temperatur yang terjadi pada bidang $Z/L = -10,845$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-2500. Pada detik ke-2500 ini udara telah memenuhi ruangan secara sepenuhnya dan telah mencapai kondisi *steady*. Pada kontur temperatur tersebut terlihat udara dingin telah menyebar ke ruangan melalui *inlet diffuser*.



Tugas Akhir Konversi Energi

Temperatur udara yang keluar dari *inlet diffuser* pada tiang kiri dan kanan sebesar 18°C , dimana letak kedua *inlet diffuser* tersebut saling berhadapan. Besar distribusi temperatur inlet diffuser yang saling berhadapan sebesar $20\text{-}22^{\circ}\text{C}$. Kontur temperatur untuk bagian kanan ruangan memiliki temperatur sebesar $27\text{-}34^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat ruang hampa temperatur udara sebesar $27\text{-}29^{\circ}\text{C}$. Kontur temperatur untuk bagian kiri ruangan memiliki temperatur sebesar $29\text{-}34^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat kaca temperatur udara sebesar $29\text{-}30^{\circ}\text{C}$ dan didekat tiang udara sebesar $32\text{-}34^{\circ}\text{C}$. Secara dominan, temperatur udara masih temperatur semula, yaitu sebesar 30°C . Pada detik ini, kontur temperatur udara berubah, dimana kontur temperatur dingin mulai meluas. Baik pada bagian kanan atau pun kiri. Hal ini dapat dilihat didaerah dekat ruang hampa dan kaca. Udara dingin menyebar dengan merata, tetapi ruangan belum bisa dikondisikan sebesar $25\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Gambar 4.13 menunjukkan distribusi temperatur terhadap jarak. Dimana terdapat 3 variabel tinggi yang dipantau, yaitu tinggi *inlet diffuser* dan tinggi orang (2 meter dan 1,5 meter). Dari grafik menunjukkan bahwa temperatur yang keluar dari *inlet diffuser* sebesar 18°C baik pada *inlet diffuser* tiang kiri maupun *inlet diffuser* tiang kanan, dimana Temperatur tersebut terletak pada posisi $-6,695$ yang mewakili awal penyebaran udara inlet diffuser pada tiang kiri dan posisi $+6,795$ yang mewakili awal penyebaran diffuser pada tiang kanan. Pada ketinggian diffuser, tiang kiri posisi $-6,695$ m pada temperatur 18°C meningkat terus hingga posisi $0,5$ m pada temperatur $29,5^{\circ}\text{C}$ dan Tiang kanan posisi $+6,795$ m pada temperatur 18°C grafik meningkat terus hingga posisi $0,5$ m pada temperatur $29,5^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa pendistributian temperatur diffuser simetris baik pendistribusian dari tiang kiri maupun tiang kanan.

Pada ketinggian 1,5 meter, posisi $-6,695$ m pada temperatur $33,5^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi $-1,3875$ m pada temperatur 37°C , dan Tiang kanan posisi $+6,795$ m pada temperatur $28,5^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi $1,4875$ m



Tugas Akhir Konversi Energi

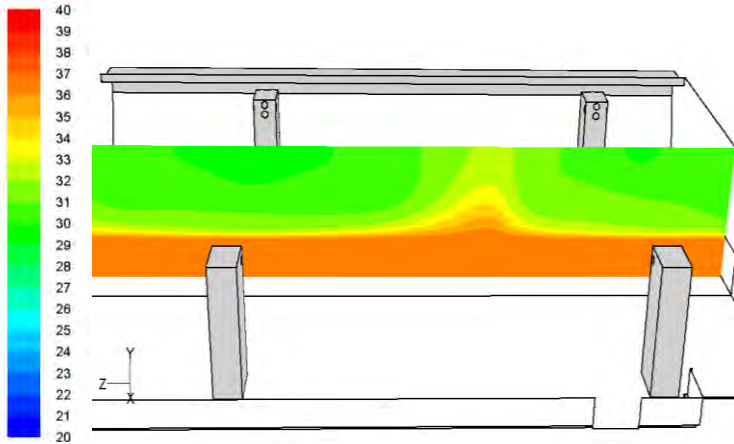
pada temperatur 37°C . Pada posisi $-1,3875$ hingga $1,4875$ temperatur konstan sebesar 37°C , hal ini menunjukkan temperatur tubuh manusia.

Pada ketinggian 2 meter, posisi $-6,695$ m pada temperatur $33,5^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi $-1,3875$ m pada temperatur 35°C , lalu pada posisi $-1,3875$ temperatur udara menurun hingga pada posisi $0,05$ pada temperatur 31°C . Pada Tiang kanan posisi $+6,795$ m pada temperatur 29°C grafik meningkat terus hingga posisi $4,1$ pada temperatur $35,5^{\circ}\text{C}$, lalu temperatur udara menurun hingga pada pada posisi $1,4875$ pada temperatur 35°C dan menurun lagi hingga pada posisi $0,05$ pada temperatur 31°C . Penurunan pada posisi $-1,3875$ hingga posisi $0,05$ simetris dengan penurunan pada posisi $1,4875$ hingga $0,05$, hal ini menunjukkan bahwa penyebaran udara dingin pada ketinggian 2 meter mulai menyebar pada daerah tengah ruangan. Pada detik ini, temperatur pada tiang kanan lebih rendah dari pada tiang kiri, hal ini bisa disebabkan karena adanya *heat gain* lampu pada tiang kiri dan letak RAG yang berada di bawah di dekat tiang kiri, hal ini yang mengakibatkan udara pada daerah dekat kaca sulit didinginkan.

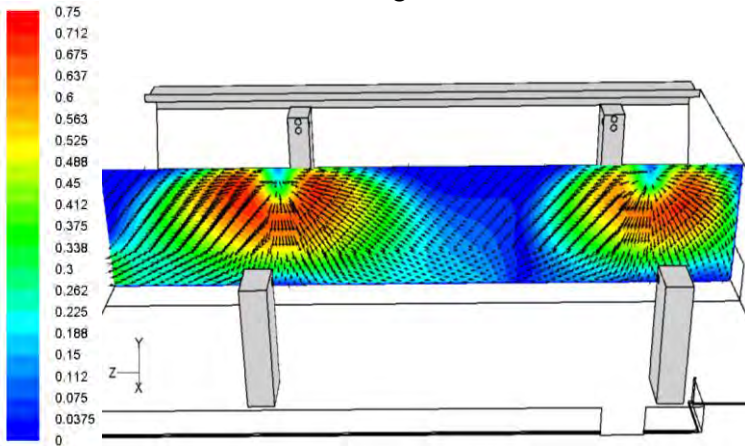
Gambar 4.14 menunjukkan distribusi vektor kecepatan yang terjadi pada bidang $Z/W = -10,845$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-2500. Pada detik ini, kecepatan penyebaran udara diffuser baik pada tiang kiri ataupun tiang kanan tetap. Pada daerah tengah ruangan penyebaran udara dingin tetap, hal ini dapat dilihat pada luasan daerah vektor kecepatan sebesar. Pada daerah dekat kaca luasan vektor kecepatan udara sebesar $0,32-0,16$ m/s lebih luas dari detik sebelumnya, hal ini menunjukkan bahwa udara terhisap oleh RAG. Pada detik ini, penyebaran udara telah konstan.



4.3.2 Bidang $X/L=0,05$



Gambar 4.16 Kontur Temperatur Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi Siang



Gambar 4.17 Kontur Kecepatan Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi Siang

Gambar 4.15 menunjukkan tentang distribusi temperature yang terjadi pada bidang $X/L=0,05$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-2500. Pada detik ke-2500 ini udara telah memenuhi ruangan secara sepenuhnya dan telah



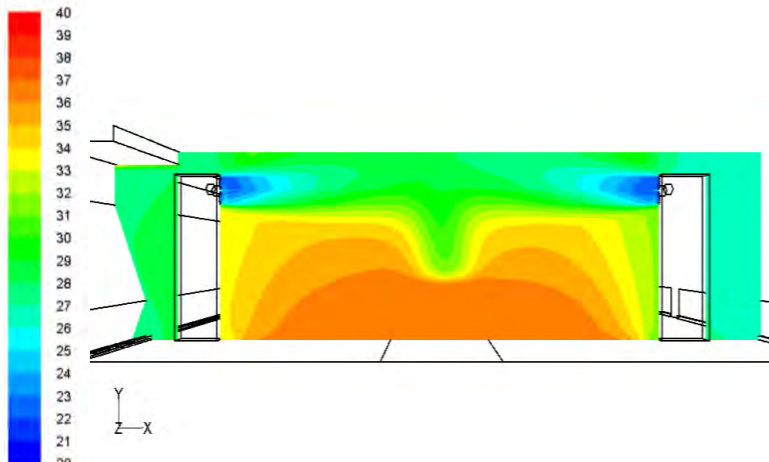
Tugas Akhir Konversi Energi

mencapai kondisi *steady*. Dari gambar tersebut terlihat udara dingin yang tersebar ke ruangan melalui *inlet diffuser* terjadi pada tiang yang berhadapan. Pada gambar terlihat temperatur pada tiang yang berhadapan sebesar 28-31°C. Sedangkan udara yang berada di tengah ruangan sebesar 33-35°C. Luasan kontur temperatur udara dingin sama dengan detik sebelumnya.

Gambar 4.16 menunjukkan tentang vektor kecepatan yang terjadi pada bidang $X/L = 0,05$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-2500. Dari gambar tersebut terlihat bahwa luas daerah udara yang memiliki vektor kecepatan 0,75-0,188 m/s tetap, sehingga bisa dikatakan luasan daerah vektor kecepatan tersebut tidak berubah.

4.4 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan malam Untuk Detik ke-200

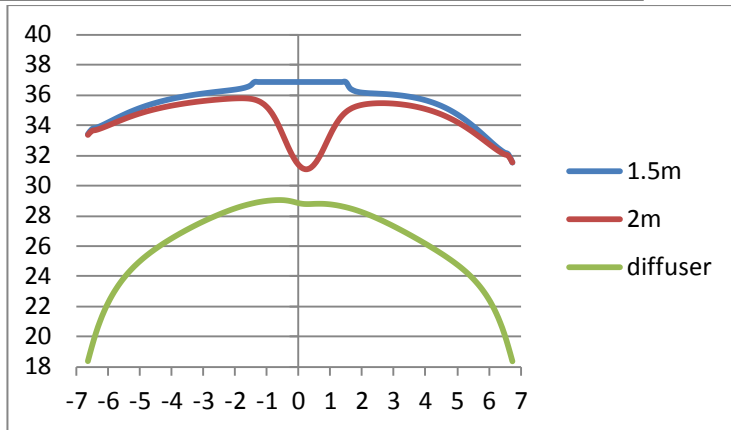
4.4.1 Bidang $z/w = -10,845$



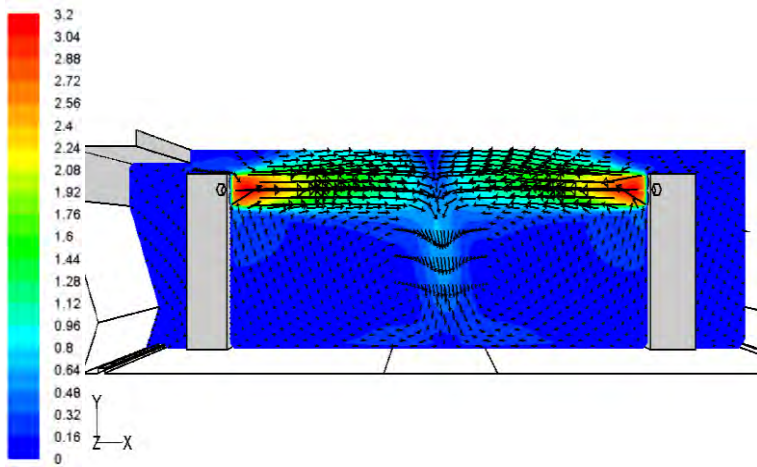
Gambar 4.18 Kontur Temperatur Bidang $z/w = -10,845$ Untuk Variasi malam



Tugas Akhir Konversi Energi



Gambar 4.19 grafik distribusi temperatur vs jarak pada detik ke 200 untuk variasi malam



Gambar 4.20 vektor Kecepatan Bidang $Z/W = -10,845$ Untuk Variasi malam

Gambar 4.17 menunjukkan tentang kontur distribusi temperatur yang terjadi pada bidang $Z/W = -10,845$ untuk variasi beban pendinginan malam pada detik ke-200. Pada kontur temperatur tersebut terlihat udara dingin mulai disebar ke ruangan melalui *inlet diffuser*. Temperatur udara yang keluar dari



Tugas Akhir Konversi Energi

inlet diffuser pada tiang kiri dan kanan sebesar 18°C , dimana letak kedua *inlet diffuser* tersebut saling berhadapan. Besar distribusi temperatur inlet diffuser yang saling berhadapan sebesar $20\text{-}22^{\circ}\text{C}$. Kontur temperatur untuk bagian kanan ruangan memiliki temperatur sebesar $26\text{-}34^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat ruang hampa temperatur udara sebesar 26°C . Kontur temperatur untuk bagian kiri ruangan memiliki temperatur sebesar $26\text{-}35^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat kaca temperatur udara sebesar 26°C dan didekat tiang udara sebesar $33\text{-}35^{\circ}\text{C}$. Pada detik ini udara dingin masih belum menyebar dengan merata dan belum bisa mendinginkan ruangan. Pada detik ini udara dingin masih belum menyebar dengan merata dan belum bisa mendinginkan ruangan.

Gambar 4.18 menunjukkan distribusi temperatur terhadap jarak. Dimana terdapat 3 variabel tinggi yang dipantau, yaitu tinggi *inlet diffuser* dan tinggi orang (2 meter dan 1,5 meter). Dari grafik menunjukkan bahwa temperatur yang keluar dari *inlet diffuser* sebesar $18,3^{\circ}\text{C}$ baik pada *inlet diffuser* tiang kiri maupun *inlet diffuser* tiang kanan, dimana Temperatur tersebut terletak pada posisi -6,695 yang mewakili awal penyebaran udara inlet diffuser pada tiang kiri dan posisi +6,795 yang mewakili awal penyebaran diffuser pada tiang kanan. Pada ketinggian diffuser, tiang kiri posisi -6,695 m pada temperatur $18,3^{\circ}\text{C}$ meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur 29°C dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur $18,3^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur 29°C . Hal ini menunjukkan bahwa pendistributian temperatur diffuser simetris baik pendistribusian dari tiang kiri maupun tiang kanan.

Pada ketinggian 1,5 meter, posisi -6,695 m pada temperatur $33,4^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi -1,3875 m pada temperatur 37°C , dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur $31,5^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi 1,4875 m pada temperatur 37°C . Pada posisi -1,3875 hingga 1,4875 temperatur konstan sebesar 37°C , hal ini menunjukkan temperatur tubuh manusia. Pada temperatur tiang kanan lebih dingin dari



Tugas Akhir Konversi Energi

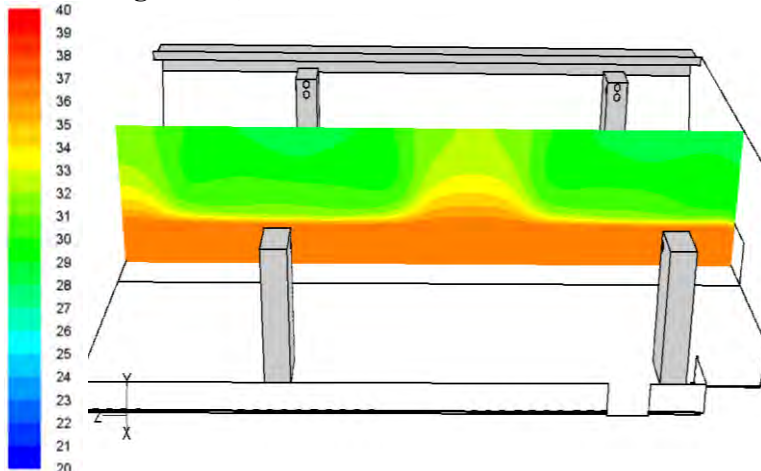
temperatur tiang kiri, hal ini dikarenakan pada bagian kiri ruangan terdapat *heat gain* yang berasal dari lampu.

Pada ketinggian 2 meter, posisi -6,695 m pada temperatur 33,4°C grafik meningkat terus hingga posisi -1,3875 m pada temperatur 35,8°C, lalu pada posisi -1,3875 temperatur udara menurun hingga pada posisi 0,05 pada temperatur 31°C. Pada Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur 31,5°C grafik meningkat terus hingga posisi 1,4875 m pada temperatur 35,3°C, lalu pada posisi 1,4875 temperatur udara menurun hingga pada posisi 0,05 pada temperatur 31,5°C. Penurunan pada posisi -1,3875 hingga posisi 0,05 simetris dengan penurunan pada posisi 1,4875 hingga 0,05, hal ini menunjukkan bahwa penyebaran udara dingin pada ketinggian 2 meter mulai menyebar pada daerah tengah ruangan. Pada temperatur tiang kanan lebih dingin dari temperatur tiang kiri, hal ini dikarenakan pada bagian kiri ruangan terdapat *heat gain* yang berasal dari lampu.

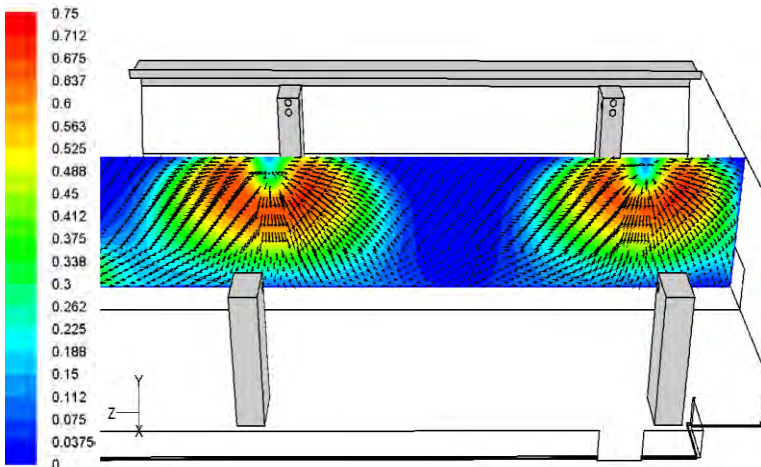
Gambar 4.19 menunjukkan distribusi vektor kecepatan yang terjadi pada bidang $Z/W = -10,845$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-200. Dari gambar tersebut terlihat bahwa udara mulai memasuki ruangan melalui *inlet diffuser* kemudian menyebar ke seluruh ruangan. Daerah berkecepatan tinggi yaitu sebesar 3,2 m/s terletak di daerah *inlet diffuser*. Kecepatan pada inlet diffuser tidak sebesar 5,091 m/s, hal ini diakibatkan adanya perbedaan temperatur ruangan dengan *inlet diffuser*. Udara bergerak lurus dari *inlet diffuser* yang terdapat di masing-masing tiang kiri dan kanan, kemudian bertemu di antara kedua tiang tersebut. Kemudian mulai jatuh kebawah dan menyebar ke kiri dan ke kanan dengan kecepatan sebesar 0,8-0,16 m/s. Udara pada sekitar lantai di dekat tiang baik pada tiang kiri maupun tiang kanan, mulai naik keatas. Hal ini dikarenakan pergerakan udara panas yang dihasilkan oleh manusia, dimana udara panas memiliki *density* yang rendah. Pada daerah dekat kaca terdapat kecepatan udara sebesar 0,16-0,32 m/s, hal ini menunjukkan bahwa udara terhisap oleh *RAG*.



4.4.2 Bidang $X/L=0,05$



Gambar 4.21 Kontur Temperatur Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi malam



Gambar 4.22 vektor Kecepatan Bidang $X/L= 0,05$ Untuk Variasi malam

Gambar 4.20 menunjukkan tentang distribusi temperatur yang terjadi pada bidang $X/L= 0,05$ untuk variasi beban pendinginan malam pada detik ke-200. Dari gambar tersebut



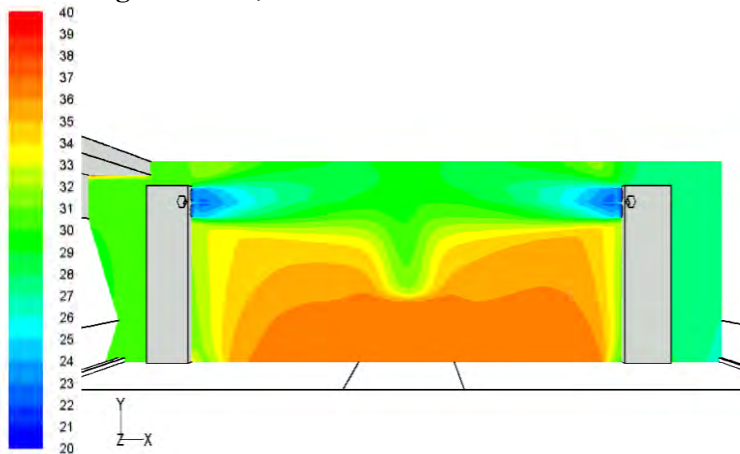
Tugas Akhir Konversi Energi

terlihat udara dingin yang tersebar ke ruangan melalui *inlet diffuser* terjadi pada tiang yang berhadapan. Pada gambar terlihat temperatur pada tiang yang berhadapan sebesar 30°C . Sedangkan udara yang berada di tengah ruangan sebesar $31\text{--}34^{\circ}\text{C}$. Luasan kontur temperatur udara dingin mulai membesar, hal ini menunjukkan bahwa pendinginan udara telah mencapai ruang tengah.

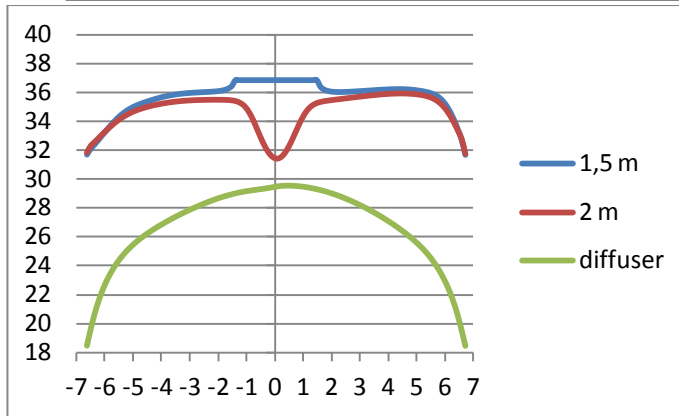
Gambar 4.21 menunjukkan tentang vektor kecepatan yang terjadi pada bidang $X/L = 0,05$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-200. Dari gambar tersebut terlihat bahwa udara yang keluar dari pertemuan inlet diffuser pada tiang kiri maupun tiang kanan mulai menyebar ke seluruh ruangan secara perlahan sebesar $0,75\text{--}0,15\text{ m/s}$. Pada detik ini, udara masih belum memenuhi ruangan sepenuhnya.

4.5 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan malam Untuk Detik ke-1050

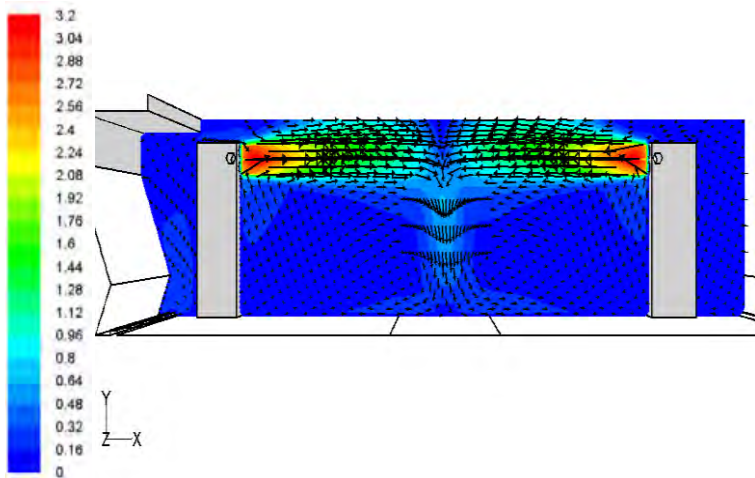
4.5.1 Bidang $Z/W = -10,845$



Gambar 4.23 Kontur Temperatur Bidang $Z/W = -10,845$ Untuk Variasi malam



Gambar 4.24 grafik distribusi temperatur vs jarak pada detik ke 1050 untuk variasi malam



Gambar 4.25 vektor Kecepatan Bidang Z/W=-10,845 Untuk Variasi malam

Gambar 4.22 menunjukkan tentang kontur distribusi temperatur yang terjadi pada bidang $Z/W = -10,845$ untuk variasi beban pendinginan malam pada detik ke-1050. Pada detik ke-2500 ini udara telah memenuhi ruangan secara sepenuhnya dan telah mencapai kondisi *steady*. Pada kontur temperatur tersebut



Tugas Akhir Konversi Energi

terlihat udara dingin mulai disebarkan ke ruangan melalui *inlet diffuser*. Temperatur udara yang keluar dari *inlet diffuser* pada tiang kiri dan kanan sebesar 18°C , dimana letak kedua *inlet diffuser* tersebut saling berhadapan. Besar distribusi temperatur inlet diffuser yang saling berhadapan sebesar $20\text{-}22^{\circ}\text{C}$. Kontur temperatur untuk bagian kanan ruangan memiliki temperatur sebesar $27\text{-}34^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat ruang hampa temperatur udara sebesar 27°C . Kontur temperatur untuk bagian kiri ruangan memiliki temperatur sebesar $27\text{-}34^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat kaca temperatur udara sebesar 27°C dan didekat tiang udara sebesar $31\text{-}34^{\circ}\text{C}$. Pada detik ini, kontur temperatur udara berubah, dimana kontur temperatur dingin mulai meluas. Hal ini dapat dilihat didaerah dekat tiang kiri dan kanan. Pada detik ini udara dingin masih belum menyebar dengan merata dan belum bisa mendinginkan ruangan.

Gambar 4.23 menunjukkan distribusi temperatur terhadap jarak. Dimana terdapat 3 variabel tinggi yang dipantau, yaitu tinggi *inlet diffuser* dan tinggi orang (2 meter dan 1,5 meter). Dari grafik menunjukkan bahwa temperatur yang keluar dari *inlet diffuser* sebesar $18,3^{\circ}\text{C}$ baik pada *inlet diffuser* tiang kiri maupun *inlet diffuser* tiang kanan, dimana Temperatur tersebut terletak pada posisi -6,695 yang mewakili awal penyebaran udara inlet diffuser pada tiang kiri dan posisi +6,795 yang mewakili awal penyebaran diffuser pada tiang kanan. Pada ketinggian diffuser, tiang kiri posisi -6,695 m pada temperatur $18,3^{\circ}\text{C}$ meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur 29°C dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur $18,3^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur 29°C . Hal ini menunjukkan bahwa pendistributian temperatur diffuser simetris baik pendistribusian dari tiang kiri maupun tiang kanan.

Pada ketinggian 1,5 meter, posisi -6,695 m pada temperatur $31,8^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi -1,3875 m pada temperatur 37°C , dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur $31,8^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi 1,4875 m pada temperatur 37°C . Pada posisi -1,3875 hingga 1,4875



Tugas Akhir Konversi Energi

temperatur konstan sebesar 37°C , hal ini menunjukkan temperatur tubuh manusia. Pada detik ini, temperatur pada tiang kiri sama dengan temperatur pada tiang kanan.

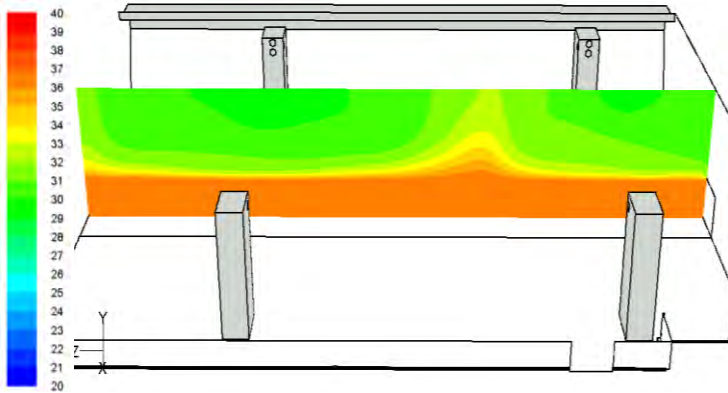
Pada ketinggian 2 meter, posisi $-6,695\text{ m}$ pada temperatur $31,8^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi $-1,3875\text{ m}$ pada temperatur 35°C , lalu pada posisi $-1,3875$ temperatur udara menurun hingga pada posisi $0,05$ pada temperatur 31°C . Pada Tiang kanan posisi $+6,795\text{ m}$ pada temperatur $31,8^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi $3,5$ pada temperatur 36°C , lalu temperatur udara menurun hingga pada pada posisi $1,4875$ pada temperatur $35,5^{\circ}\text{C}$ dan menurun lagi hingga pada posisi $0,05$ pada temperatur 31°C . Penurunan pada posisi $-1,3875$ hingga posisi $0,05$ simetris dengan penurunan pada posisi $1,4875$ hingga $0,05$, hal ini menunjukkan bahwa penyebaran udara dingin pada ketinggian 2 meter mulai menyebar pada daerah tengah ruangan. Pada detik ini, penyebaran udara dingin mulai meluas, hal ini dapat dilihat dari luasan kontur udara dingin yang meluas didekat tiang.

Gambar 4.24 menunjukkan distribusi vektor kecepatan yang terjadi pada bidang $Z/W = -10,845$ untuk variasi beban pendinginan siang pada detik ke-1050. Pada detik ini, kecepatan penyebaran udara diffuser baik pada tiang kiri ataupun tiang kanan tetap. Tetapi pada daerah tengah ruangan penyebaran udara dingin mulai meluas, hal ini dapat dilihat bahwa daerah vektor kecepatan sebesar $0,48\text{-}0,16\text{ m/s}$ mulai meluas. Pada daerah dekat kaca luasan vektor kecepatan udara sebesar $0,32\text{-}0,16\text{ m/s}$ mulai meluas, hal ini menunjukkan bahwa udara terhisap oleh RAG. Pada detik ini, penyebaran udara lebih luas dari pada detik sebelumnya.

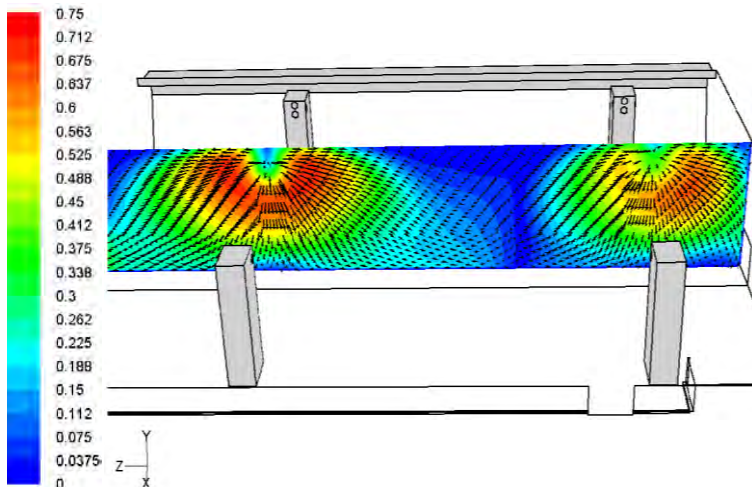


Tugas Akhir Konversi Energi

4.5.2 Bidang $X/L=0,05$



Gambar 4.26 Kontur Temperatur Bidang $X/L= 0,05$ Untuk Variasi malam



Gambar 4.27 Kontur Kecepatan Bidang $z/w=0,05$ Untuk Variasi malam

Gambar 4.25 menunjukkan tentang distribusi temperatur yang terjadi pada bidang $X/L= 0,05$ untuk variasi beban pendinginan malam pada detik ke-1050. Pada gambar terlihat udara mulai menyebar dengan temperatur berkisar 30-32°C. Pada



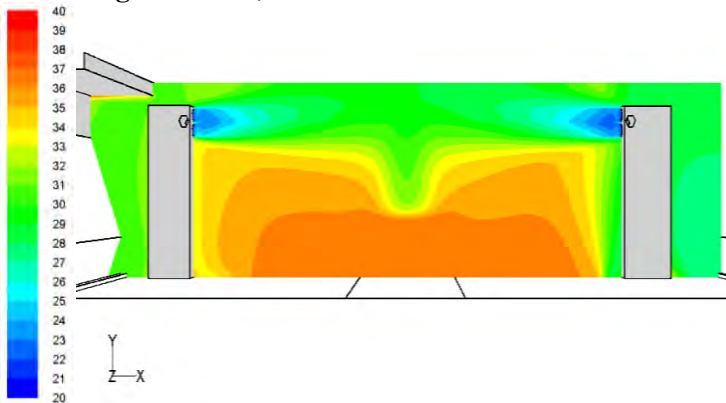
Tugas Akhir Konversi Energi

daerah tengah temperatur udara mencapai $31\text{--}34^{\circ}\text{C}$. Hal ini dikarenakan temperatur udara di dekat lantai dipengaruhi oleh kalor yang dikeluarkan orang. Pada dekat dinding, temperatur udara telah mencapai $30\text{--}32^{\circ}\text{C}$. Pada variabel malam ini jauh lebih panas dari pada variabel siang hari karena jumlah penumpang yang jauh lebih banyak.

Gambar 4.26 menunjukkan tentang vektor kecepatan yang terjadi pada bidang $X/L = 0,05$ untuk variasi beban pendinginan malam pada detik ke-1050. Dari gambar tersebut terlihat bahwa udara yang menyatu di tengah ruangan mulai menyebar ke seluruh ruangan secara berlahan sebesar $0,75\text{--}0,188$ m/s. Luas daerah penyebaran jauh lebih besar dari detik sebelumnya.

4.6 Analisa Pembahasan Variasi Beban Pendinginan malam Untuk Detik ke-2500

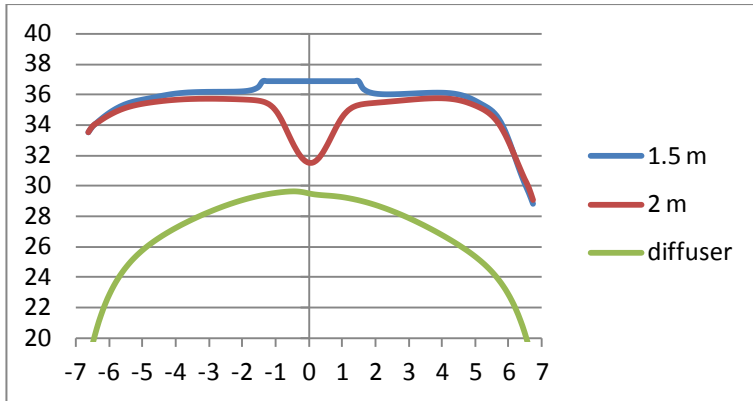
4.6.1 Bidang $Z/L = -10,845$



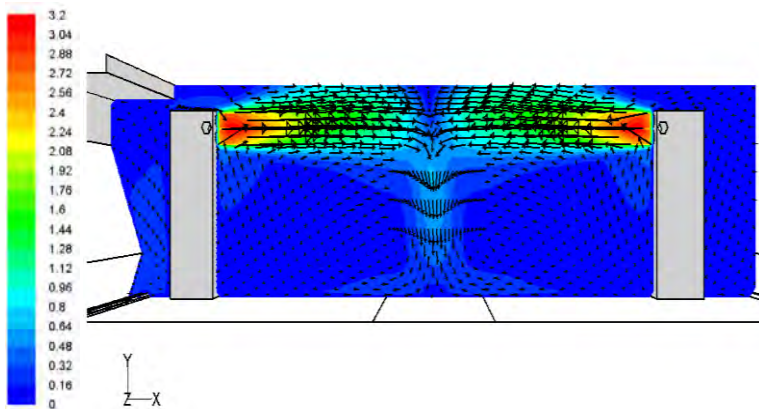
Gambar 4.28 Kontur Temperatur Bidang $Z/L = -10,845$ Untuk Variasi malam



Tugas Akhir Konversi Energi



Gambar 4.29 grafik distribusi temperatur vs jarak pada detik ke 2500 untuk variasi malam



Gambar 4.30 Vektor Kecepatan Bidang $Z/L = -10,845$ Untuk Variasi malam

Gambar 4.27 menunjukkan tentang distribusi temperatur yang terjadi pada bidang $Z/L = -10,845$ untuk variasi beban pendinginan malam hari pada detik ke-2500. Pada kontur temperatur tersebut terlihat udara dingin telah menyebar ke ruangan melalui *inlet diffuser*. Temperatur udara yang keluar dari *inlet diffuser* pada tiang kiri dan kanan sebesar 18°C , dimana letak kedua *inlet diffuser* tersebut saling berhadapan. Besar distribusi



Tugas Akhir Konversi Energi

temperatur inlet diffuser yang saling berhadapan sebesar $20-22^{\circ}\text{C}$. Kontur temperatur untuk bagian kanan ruangan memiliki temperatur sebesar $27-33^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat ruang hampa temperatur udara sebesar $27-29^{\circ}\text{C}$. Kontur temperatur untuk bagian kiri ruangan memiliki temperatur sebesar $29-35^{\circ}\text{C}$, dimana pada daerah dekat kaca temperatur udara sebesar $29-31^{\circ}\text{C}$ dan didekat tiang udara sebesar $32-35^{\circ}\text{C}$. Pada detik ini, kontur temperatur udara berubah, dimana kontur temperatur dingin mulai meluas. Hal ini dapat dilihat didaerah dekat tiang kiri dan kanan. Udara dingin menyebar dengan merata, tetapi ruangan belum bisa dikondisikan sebesar $25\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Gambar 4.28 menunjukkan distribusi temperatur terhadap jarak. Dimana terdapat 3 variabel tinggi yang dipantau, yaitu tinggi *inlet diffuser* dan tinggi orang (2 meter dan 1,5 meter). Dari grafik menunjukkan bahwa temperatur yang keluar dari *inlet diffuser* sebesar $18,3^{\circ}\text{C}$ baik pada *inlet diffuser* tiang kiri maupun *inlet diffuser* tiang kanan, dimana Temperatur tersebut terletak pada posisi -6,695 yang mewakili awal penyebaran udara inlet diffuser pada tiang kiri dan posisi +6,795 yang mewakili awal penyebaran diffuser pada tiang kanan. Pada ketinggian diffuser, tiang kiri posisi -6,695 m pada temperatur $18,3^{\circ}\text{C}$ meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur 29°C dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur $18,3^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur 29°C . Hal ini menunjukkan bahwa pendistributian temperatur diffuser simetris baik pendistribusian dari tiang kiri maupun tiang kanan.

Pada ketinggian 1,5 meter, posisi -6,695 m pada temperatur $33,5^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi -1,3875 m pada temperatur 37°C , dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur $28,5^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi 1,4875 m pada temperatur 37°C . Pada posisi -1,3875 hingga 1,4875 temperatur konstan sebesar 37°C , hal ini menunjukkan temperatur tubuh manusia.

Pada ketinggian 2 meter, posisi -6,695 m pada temperatur $33,5^{\circ}\text{C}$ grafik meningkat terus hingga posisi -1,3875 m pada



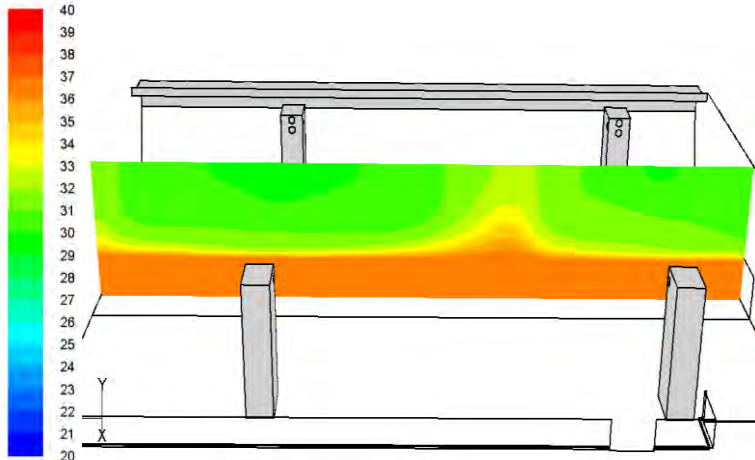
Tugas Akhir Konversi Energi

temperatur 35°C , lalu pada posisi $-1,3875$ temperatur udara menurun hingga pada posisi $0,05$ pada temperatur 31°C . Pada Tiang kanan posisi $+6,795$ m pada temperatur 29°C grafik meningkat terus hingga posisi $4,1$ pada temperatur $35,5^{\circ}\text{C}$, lalu temperatur udara menurun hingga pada pada posisi $1,4875$ pada temperatur 35°C dan menurun lagi hingga pada posisi $0,05$ pada temperatur 31°C . Penurunan pada posisi $-1,3875$ hingga posisi $0,05$ simetris dengan penurunan pada posisi $1,4875$ hingga $0,05$, hal ini menunjukkan bahwa penyebaran udara dingin pada ketinggian 2 meter mulai menyebar pada daerah tengah ruangan. Pada detik ini, temperatur pada tiang kanan lebih rendah dari pada tiang kiri, hal ini bisa disebabkan karena adanya *heat gain* lampu pada tiang kiri dan letak RAG yang berada di bawah di dekat tiang kiri, hal ini yang mengakibatkan udara pada daerah dekat kaca sulit didinginkan.

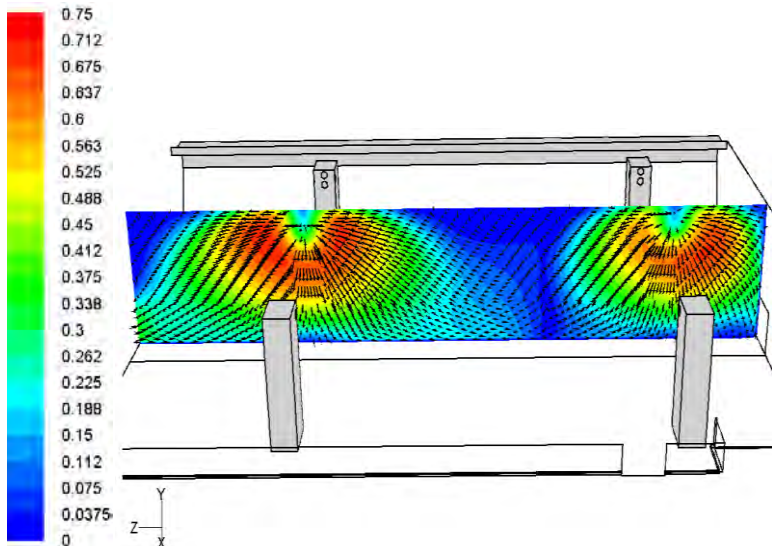
Gambar 4.29 menunjukkan distribusi vektor kecepatan yang terjadi pada bidang $Z/W = -10,845$ untuk variasi beban pendinginan malam pada detik ke-2500. Pada detik ini, kecepatan penyebaran udara diffuser baik pada tiang kiri ataupun tiang kanan tetap. Pada daerah tengah ruangan penyebaran udara dingin telah tetap, hal ini dapat dilihat pada luasan daerah vektor kecepatan sebesar $3,2-0,188$ m/s. Pada daerah dekat kaca luasan vektor kecepatan udara sebesar $0,32-0,16$ m/s telah meluas, hal ini menunjukkan bahwa udara terhisap oleh RAG. Pada detik ini, penyebaran udara telah konstan.



4.6.2 Bidang $X/L=0,05$



Gambar 4.31 Kontur Temperatur Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi malam



Gambar 4.32 Vektor Kecepatan Bidang $X/L=0,05$ Untuk Variasi malam



Tugas Akhir Konversi Energi

Gambar 4.30 menunjukkan tentang distribusi temperatur yang terjadi pada bidang $X/L=0,05$ untuk variasi beban pendinginan malam pada detik ke-2500. Pada detik ke-2500 ini udara telah memenuhi ruangan secara sepenuhnya dan telah mencapai kondisi *steady*. Dari gambar tersebut terlihat udara dingin yang tersebar ke ruangan melalui *inlet diffuser* terjadi pada tiang yang berhadapan. Pada gambar terlihat temperatur pada tiang yang berhadapan sebesar $28-31^{\circ}\text{C}$. Sedangkan udara yang berada di tengah ruangan sebesar $35-33^{\circ}\text{C}$. Luasan kontur temperatur udara dingin sama dengan detik sebelumnya.

Gambar 4.31 menunjukkan tentang vektor kecepatan yang terjadi pada bidang $X/L = 0,05$ untuk variasi beban pendinginan malam pada detik ke-2500. Dari gambar tersebut terlihat bahwa luas daerah udara yang memiliki vektor kecepatan $0,75-0,188 \text{ m/s}$ tetap, sehingga bisa dikatakan luasan daerah vektor kecepatan tersebut tidak berubah.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa dan diskusi tentang studi numerik distribusi temperatur dan kecepatan udara di Ruang Consession 1 lantai 2 Terminal 2 Bandar Udara Internasional Juanda Sidoarjo yang telah dilakukan dengan menggunakan *software CFD*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Distribusi temperatur udara yang dilihat pada *iso surface* $z = -10,845$ pada variabel beban pendinginan siang hari dan malam hari yang diambil pada detik ke 2500. Pada Siang hari, Kontur temperatur untuk bagian kanan ruangan memiliki temperatur sebesar $27-34^{\circ}\text{C}$, dan untuk bagian kiri ruangan memiliki temperatur sebesar $29-34^{\circ}\text{C}$. Pada malam hari, Kontur temperatur untuk bagian kanan ruangan memiliki temperatur sebesar $27-33^{\circ}\text{C}$, dan untuk bagian kiri ruangan memiliki temperatur sebesar $29-35^{\circ}\text{C}$. Pada kedua variabel pada bagian kiri dan kanan, udara dingin yang keluar dari *inlet diffuser* tidak dapat mengkondisikan ruangan sebesar $25\pm 2^{\circ}\text{C}$. Pada bagian kiri, *RAG* yang terletak di lantai menghisap udara dingin yang turun sehingga udara dingin belum sempat memenuhi ruangan. Pada bagian kanan, dikarenakan udara langsung keluar menuju pada ruang hampa, sehingga udara tidak sempat memenuhi ruangan.
2. Distribusi temperatur udara yang dilihat pada *iso surface* $x = 0,05$ pada variabel beban pendinginan siang hari dan malam hari yang diambil pada detik ke 2500. Pada bagian tengah ruangan kedua variabel tersebut menunjukkan kontur temperatur ruangan yang sama, yaitu sebesar $31-34^{\circ}\text{C}$.
3. Distribusi temperatur udara yang dilihat pada grafik pada variabel beban pendinginan siang hari dan malam hari yang diambil pada detik ke 2500. Pada grafik variabel



Tugas Akhir Konversi Energi

- ketinggian 1,5 m dan 2 m, pada posisi -6,695 hingga 0,5 memiliki tingkat kontur kenaikan grafik yang sama. Pada posisi 3,7 - 5,5 kontur grafik pada variabel malam hari cenderung meningkat lebih cepat, hal ini dikarenakan beban pendinginan pada malam hari lebih besar dari siang hari. Pada ketinggian diffuser pada semua variabel cenderung sama, yaitu , tiang kiri posisi -6,695 m pada temperatur 18,3°C meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur 29°C dan Tiang kanan posisi +6,795 m pada temperatur 18,3°C grafik meningkat terus hingga posisi 0,5 m pada temperatur 29°C. Hal ini menunjukkan bahwa pendistributian temperatur diffuser simetris baik pendistribusian dari tiang kiri maupun tiang kanan.
4. Distribusi Vektor Kecepatan udara yang dilihat pada *iso surface* $z = -10,845$ pada variabel beban pendinginan siang hari dan malam hari yang diambil pada detik ke 2500. Untuk kedua variabel tersebut memiliki kecepatan vektor yang sama, yaitu pada daerah tengah ruangan , vektor kecepatan sebesar 0,8-0,16 m/s, sedangkan pada daerah dekat kaca, vektor kecepatan udara sebesar 0,32-0,16m/s. Dimana udara dekat RAG menunjukkan bahwa udara terhisap oleh RAG.
 5. Distribusi Vektor Kecepatan udara yang dilihat pada *iso surface* $x = 0,05$ pada variabel beban pendinginan siang hari dan malam hari yang diambil pada detik ke 2500. Untuk kedua variabel tersebut memiliki nilai kecepatan vektor yang sama yaitu 0,8-0,16 m/s. Tetapi, hal yang membedakan adalah luasan daerah yang menunjukkan nilai kecepatan vektor tersebut, dimana luasan daerah pada variabel malam hari lebih kecil dari pada siang hari. Hal ini disebabkan karena beban pendinginan pada malam hari lebih besar dari beban pendinginan pada siang hari.



5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian dan diharapkan berguna untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya dalam perancangan pembangunan disarankan agar *RAG* tidak terletak di lantai agar udara dingin dapat memenuhi ruangan dengan merata.
2. Diperlukan adanya sekat tambahan yang lebih tinggi dari tinggi orang rata-rata, agar pada bagian kanan ruangan, udara tidak langsung menuju ruang hampa atas lantai 1.
3. Sangat diperlukan komputer dengan spesifikasi yang tinggi karena dalam simulasi pengkondisian ruangan sangat sulit mencapai konvergenitas dengan waktu yang cepat.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



LAMPIRAN

Tabel air properties

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536



Tugas Akhir Konversi Energi

Tabel Heat gain Manusia

Table 1 Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity

Degree of Activity	Location	Total Heat, Btu/h		Sensible Heat, Btu/h	Latent Heat, Btu/h	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low V	High V
Seated at theater	Theater, matinee	390	330	225	105		
Seated at theater, night	Theater, night	390	350	245	105	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	450	400	245	155		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	475	450	250	200		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	550	450	250	200	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	550	500	250	250		
Sedentary work	Restaurant ^c	490	550	275	275		
Light bench work	Factory	800	750	275	475		
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	545	49	35
Walking 3 mph; light machine work	Factory	1000	1000	375	625		
Bowling ^d	Bowling alley	1500	1450	580	870		
Heavy work	Factory	1500	1450	580	870	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	1600	1600	635	965		
Athletics	Gymnasium	2000	1800	710	1090		